

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO

**APROXIMAÇÃO ENTRE A CIÊNCIA DO ALUNO
NA SALA DE AULA DA 1ª SÉRIE DO 2º GRAU
E A CIÊNCIA DOS CIENTISTAS : UMA DISCUSSÃO**

**Dissertação de mestrado em
Educação - Linha de investigação :
Educação e Ciência**

**Terezinha de Fatima Pinheiro
Prof. Dr. Maurício Pietrocola - Orientador**

**Florianópolis - Santa Catarina
Agosto - 1996**

PARECER DA BANCA

FICHA CATALOGRÁFICA

PINHEIRO, Terezinha de Fatima. **Aproximação entre a Ciência do aluno na sala de aula da 1ª série do 2º grau e a Ciência dos cientistas : Uma discussão.** Florianópolis, 1996. 156p. Dissertação (Mestrado em Educação) - Curso de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Maurício Pietrocola

Defesa : 16/08/96

Discussão sobre o papel estruturante dos modelos matemáticos no conhecimento científico, apontando a importância da consideração e compreensão destes modelos no ensino de Física. Proposta de uma unidade de ensino, desenvolvida por meio de atividades experimentais, que tem por objetivo a modelização de variáveis, por consequência, a construção de modelos matemáticos.

Agradecimentos

Esta é uma das poucas páginas desta dissertação em que mencionarei um dos aspectos da dimensão individual do conhecimento : a afetividade. Esta página, além de deixar registrado meus agradecimentos, serve para mostrar que, embora não tenha sido foco de meu trabalho, a afetividade tem uma importância fundamental em tudo que realizamos. Até em um trabalho acadêmico. Que bom que esta página é permitida. Assim, podemos deixar registradas muitas coisas que não cabem em uma dissertação, mas que sem elas o trabalho não sairia, ou não teria "cor e vida".

- Ao Prof. Dr. Maurício Pietrocola Oliveira, pela excelente orientação e, ao "Menino" por ter me oportunizado conhecer um grande ser humano.
- À minha família, pelo muito que sou e ainda por torcerem de longe, entendendo meu isolamento.
- Aos amigos do GREIVi :
 - Valmor, pelo incentivo para que eu abordasse o problema investigado;
 - José Análio, pelas discussões, troca de figurinhas e companheirismo no tema;
 - José de Pinho - o sempre mestre Pinho, de quem tenho a honra de ser discípula, por ter acreditado em mim, pelas leituras, pelas sugestões e pelo incentivo constante.
- Aos professores do Curso de Mestrado, por terem ensinado muito além das "regras do paradigma" do Mestrado : Selvino Assmann, Nelma Baldin, Edel Ern, José Erno Taglieber, André V. Zunino, Arden Zylberstajn, José André Angotti, Maria Celina Crema, Maria da Graça Bollmann, Osvaldo Casonato, Maurício Pietrocola Oliveira, Dominique de Domingues, Jean Pierre Astolfi.
- Aos colegas de curso, pela amizade e troca de experiências.
- Aos amigos, pela torcida.
- À UFSC, que possibilitou minha formação desde a Graduação e onde trabalho.

Àqueles que foram a fonte de inspiração e a quem espero revertam os resultados, dedico este trabalho : MEUS ALUNOS

RESUMO

Este trabalho trata sobre o papel dos modelos matemáticos no aprendizado de conteúdos científicos, físicos em particular. Nesse sentido, discutimos, de um ponto de vista teórico, o papel da construção de modelos no conhecimento físico e o papel de atividades experimentais na construção de modelos matemáticos. Nossa tese é que o domínio desses modelos, por meio de atividades experimentais, facilita a aproximação entre o conhecimento próprio dos alunos sobre os fenômenos, os conteúdos estudados na disciplina Física e o conhecimento científico. Centrando nossa análise em aspectos cognitivos e epistemológicos, relacionados ao uso da linguagem formal da Ciência, em particular na Física, verificamos que a superação dessas dificuldades estão relacionadas à necessidade de etapas iniciadoras que viabilizem a apreensão do papel estruturador dos modelos matemáticos na construção do conhecimento físico. São estes modelos que possibilitam a compreensão dos modelos teóricos que compõem o conhecimento em Física.

Por fim, elaboramos uma seqüência didática, tendo as atividades experimentais como instrumento de ensino. Esta seqüência se constitui numa unidade de ensino, denominada "Iniciação à Ciências" que tem por objetivo possibilitar a construção de modelos matemáticos.

ABSTRACT

This paper is about the role of mathematical patterns in learning the scientific topics, physical in particular. In this sense, we discuss, from a theoretical point of view, the role of pattern construction in the physical knowledge, and the role of experimental activities in the mathematical patterns. Our thesis is that the dominance of these patterns, by experimental activities, facilitates the approximation between the students own knowledge about the phenomenon, the topics studied in Physics, and the scientific knowledge. Centering our analysis in cognitive and epistemological aspects, particularly in Physics, we found out that the overcoming of these difficulties are related to the necessity of initiated steps that can become possible the role of the structuring apprehension of the mathematical patterns in the physical knowledge construction. These are the patterns that make possible the understanding of the theoretical patterns that forms the knowledge in Physics.

At last, we elaborated a didactic sequence having the experimental activities as a teaching tool. This sequence consists in a teaching unit, called "Initiation to Science" and its aim is to give possibility to the construction of mathematical patterns.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
SUMARIO	8
CAP. 1 - ORIGEM DA QUESTÃO DE PESQUISA.	
1. 1 - Apresentação	10
1. 2 - Contexto do problema	17
1.3 - Metodologia da pesquisa	21
CAP. 2 - A CIÊNCIA DOS CIENTISTAS, A CIÊNCIA DA ESCOLA E A CIÊNCIA DOS ALUNOS.	
2. 1 - Introdução	24
2. 2 - A Ciência dos Cientistas	25
2. 2. 1 - A versão kuhniana da produção científica : A Ciência como resultado da adesão a um paradigma	25
2. 2. 2 - O conhecimento físico enquanto estrutura complexa ...	40
2. 3 - A Ciência da escola	44
2. 3. 1 - Transposição didática	45
2. 3. 2 - O saber a ensinar : A Ciência da Escola Secundária nos livros didáticos e planos de ensino	49
2. 3. 3 - O saber ensinado : A Ciência da Escola no modo como o conteúdo físico é ensinado	51
2. 4 - A Ciência dos alunos	56
2. 4. 1 - As pesquisas sobre esquemas conceituais alternativos ..	62
2. 4. 2 - A concepção de Ciências Naturais dos estudantes.....	66
CAP. 3 - SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS NA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NA CIÊNCIA E NA SALA DE AULA	
3. 1 - Introdução	71
3. 2 - A construção dos modelos	73
3. 3 - A dimensão individual do conhecimento e a Matemática como condicionantes da construção de modelos	78
3. 4 - As pesquisas sobre proporcionalidade e funções	90
3. 5 - A importância da atividade experimental como instrumento de ensino	96

CAP. 4 - UMA PROPOSTA DE COMO APROXIMAR A CIÊNCIA DO
CIENTISTA DA CIÊNCIA DOS ALUNOS.

4. 1 - Introdução	100
4. 2 - A necessidade de uma interface que seja ponto de partida ..	102
4. 3 - O contexto da unidade de ensino	107
4.4 - A unidade de ensino "Iniciação à Ciências".....	111
CONCLUSÃO	144
BIBLIOGRAFIA	148

ANEXOS

ANEXO I - Consulta - Concepção de Ciência

ANEXO II - Planos de Ensino

CAP. 1 - ORIGEM DA QUESTÃO DE PESQUISA

1.1 - APRESENTAÇÃO

O momento em que percebemos pela primeira vez o problema que discutimos nesse trabalho ocorreu durante o curso de graduação na UFSC, iniciado em 1976. Naquela época havia o curso Licenciatura em Ciências e Matemática - habilitação : Física⁽¹⁾. Isso significava que, ao ingressar no curso de Física, também se era habilitado para lecionar Ciências e Matemática à nível de 1º grau. Cabe ressaltar que a nossa escolha pelo curso de Física ocorreu também por termos nos saído bem nessa disciplina, durante o curso de segundo grau.

Na segunda fase do curso, no segundo semestre de 1976, havia uma disciplina, denominada Física Experimental Básica, na qual o professor, no primeiro dia de aula, solicitou que respondêssemos uma lista de exercícios, tipo sondagem. Na primeira questão era solicitado que se determinasse a função que representava os dados apresentados em uma determinada tabela. Nós, como a maioria dos alunos, não soubemos responder.

Quando o professor devolveu a atividade e discutiu a referida questão é que começamos a nos dar conta de alguns aspectos básicos do conhecimento físico. O que deveríamos ter feito naquela atividade era, a partir da verificação da regularidade dos dados apresentados na tabela, escrever a relação matemática que representasse a dependência entre as duas grandezas mostradas. Foi a partir deste fato que percebemos ser possível representar os dados de uma tabela, que mostra a dependência entre duas grandezas quaisquer que não os "x e y", por meio de uma relação matemática. E foi deste momento em diante que passamos a compreender que a Física trabalha com modelos.

¹ Para maiores informações sobre a estruturação do curso de Física, ver Dissertação de Mestrado de José de Pinho Alves Filho, Licenciatura em Física da UFSC : Análise à luz do referencial de Eisner e Vallance, UFSC, Florianópolis, SC, 1990.

Até então, no segundo grau, havíamos feito o curso de Aprofundamento em Ciências, no qual o enfoque da grade curricular era para disciplinas da área de Ciências Naturais e Matemática. Portanto, já tínhamos visto, de maneira relativamente satisfatória para esse nível de ensino, os conteúdos de Matemática e Física. No entanto, até o mencionado episódio, não havíamos nos apercebido da estreita relação que havia entre as funções matemáticas e as "fórmulas" da Física.

Portanto, embora já tendo contato com os conteúdos básicos de Física no ensino de segundo grau, foi durante o curso de Licenciatura que começamos a perceber qual o papel que a Matemática desempenha na Física e a compreender que seu significado é bem maior do que a simples possibilidade de expressar quantidades. Ela passou a adquirir o caráter de linguagem estruturante, por meio da qual se constrói a dependência entre grandezas físicas.

Passamos a acreditar que se tivéssemos percebido esta relação, anteriormente, ao longo do curso de segundo grau, certamente teríamos evitado "alguns sofrimentos" para aprender o conteúdo da Física e, em particular, para responder aos problemas propostos.

As experiências pelas quais passamos em nossa vida de estudante interferem em nossa atuação como docente. Por isso, quando iniciamos nossas atividades como professora tentávamos, na medida do possível, apresentar esse aspecto da Física aos alunos. Tentávamos mostrar para eles a estreita relação que havia entre as "fórmulas" da Física e as funções matemáticas. Entretanto percebíamos que, mesmo tornando evidente esta estreita relação, havia algumas dificuldades de compreensão originadas, dentre outros fatores, no próprio entendimento de funções. Passamos a perceber, então, que algumas das dificuldades de compreensão do conhecimento físico estão vinculadas a sua complexidade e, particularmente, ao entendimento de funções. É para essas dificuldades e a busca de solução para elas que focalizamos a nossa atenção ao longo deste trabalho.

Além de dificuldades de aprendizagem dos alunos, a realidade escolar nos coloca frente-a-frente com questões de ordem operacional, políticas, culturais, históricas, etc., que interferem em nossa atuação docente e em nossas decisões. Uma delas, que é importante assinalar, se refere a resistência às mudanças.

O conteúdo físico está rigidamente estruturado em seqüências programáticas, cuja execução julga-se indispensável para completar as etapas curriculares oficialmente previstas. Em sua maioria, esses conteúdos são definidos a partir dos índices/sumários de livros didáticos disponíveis no mercado. Muitas vezes, a escolha dos conteúdos sequer leva em conta os objetivos do curso e a carga horária destinada ao ensino de Física. Percebe-se que tentativas de mudança no conteúdo programático causam um certo temor a toda a comunidade escolar (administradores, especialistas, professores, alunos e pais) e não são bem recebidas. Aliás, não é incomum que diretores/proprietários de escolas particulares já definam, no momento da contratação de um docente, a maneira como o professor deve trabalhar o conteúdo e os "limites de inovação" que a escola permite.

Também percebemos receios por parte da comunidade escolar quando se coloca em discussão a mudança do livro didático adotado. Não raro, a seqüência programática proposta pelos livros valoriza aspectos irrelevantes de determinados conteúdos, apresenta o conteúdo de forma estática e fragmentária, na maioria das vezes descontextualizada da realidade do aluno e, em geral num nível de profundidade não adequado às necessidades do curso. Em relação ao problema que discutimos nesse trabalho, podemos verificar um exemplo da fragmentação na apresentação dos conteúdos e a desconexão entre as várias formas de representação da relação entre as grandezas físicas, assunto este que nos interessa particularmente. Alguns desses livros, como Bonjorno (1985), Dell'Arciprete (1982) e Ramalho (1982), apresentam as equações e exemplos de determinado conteúdo físico em um capítulo do livro e, em outro capítulo distinto, os gráficos correspondentes a esse conteúdo.

Cabe ressaltar que já existem no mercado alguns livros didáticos, que demonstram a preocupação dos autores em discutir os conceitos e mostrar a relação entre os modelos matemáticos e os modelos físicos. A existência destes livros nos auxiliou a expor aos alunos a estreita relação entre Física e Matemática e inspirou nossas tentativas de buscar um elemento facilitador para o processo ensino-aprendizagem de Física. O Colégio de Aplicação da UFSC, onde lecionamos, utiliza como livro texto, desde o início da década de oitenta, o livro "Curso de Física", de autoria de Beatriz Alvarenga e Antônio Máximo (1986), o qual traz, na parte introdutória aos conteúdos de Física, uma unidade dedicada à Funções e Gráficos. Foi por inspiração na referida unidade que

começamos a pensar formas de fazer os alunos compreenderem a relação Física-Matemática. Para desenvolver a unidade os autores utilizam uma linguagem acessível que, a partir da descrição de uma atividade hipotética de obtenção de dados, mostram a dependência e a regularidade existentes entre as grandezas físicas envolvidas, para chegar à relação matemática entre elas. Nos anos noventa, outros autores como Amaldi (1995), Ferraro (1991) e Paraná (1993) apresentam em seus livros uma unidade dedicada à discussão dos modelos matemáticos.

Outro aspecto que deixa o professor sem saber como proceder e que, de certo modo, é fonte de insegurança para ele, é a realização de atividades de experimentação. Ao longo do período de formação o licenciando estuda ou ouve falar da Ciência e seu método. No caso da Física, é reforçado continuamente que ela é uma Ciência experimental e, por isso grande ênfase é dada ao papel da experimentação no desenvolvimento desta área do conhecimento. No entanto, quando o professor novato se depara com a atividade escolar e troca informações a este respeito com seus colegas veteranos, verifica que muito pouco é realizado neste sentido. Para o modesto uso de atividades de experimentação são apresentadas justificativas tais como: "não é possível, pois há pouca aula de Física e não se venceria o conteúdo programático"; "não existe espaço adequado e nem equipamento suficiente"; "não há experiências que possam ser desenvolvidas de modo satisfatório, para a maioria do conteúdo de Física do 2º grau, pois a margem de erro é muito grande"; "a experiência não dá certo." Assim, geralmente, quando alguma experimentação é desenvolvida, ela é realizada pelo professor em sala, como demonstração ou ilustração do conteúdo. Em poucas ocasiões, os alunos vão ao laboratório para executar experiências, porém para comprovar o conteúdo antes ministrado nas aulas expositivas.

Além disso, a carga didática semanal elevada, a correria de uma escola para outra, as infindáveis correções de provas e exercícios e ... uma certa dose de acomodação, fazem com que a maioria dos professores não questionem suas atitudes e passem a adotar uma postura tradicional como a maneira mais acertada de ministrar o conteúdo. Afinal, "todo mundo" trabalha assim ! Tal procedimento é caracterizado pela apresentação do conteúdo por meio de aulas expositivas. Reproduzindo o que geralmente se verifica nos livros didáticos, o professor descreve teoricamente um evento para ilustração, fornece os conceitos, as definições e as "fórmulas" relativas ao conteúdo, resolve alguns exemplos e passa uma lista de exercícios.

Não pretendemos julgar ou justificar o procedimento comum dos professores, pois não é este o objetivo deste trabalho. Ao levantarmos esta discussão, objetivamos chamar a atenção para o contexto no qual a maioria dos professores se insere ao ingressar na carreira docente : de um lado, as dificuldades de aprendizagem presenciadas no seu dia-a-dia parecem indicar a necessidade de operar mudanças; de outro, as práticas tradicionais constituem-se em verdadeiras barreiras que desestimulam a execução de qualquer plano de mudança.

Como professora do Colégio de Aplicação da UFSC nos foram dadas oportunidades para refletir sobre a prática docente, e principalmente, interagir com professores que atuavam no Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da UFSC, na área de ensino de Ciências. Passamos a integrar o Greivi (Grupo de Ensino, Instrumentação e Vídeo, formado por professores da UFSC), no qual, desde 1987, desenvolve-se projetos⁽²⁾, estudos e atividades que visam aprofundar questões relativas ao ensino de Ciências e Matemática. Assim, passamos a ter interlocutores que, além da aprendizagem que nos proporcionaram, incentivaram nossas investidas na perspectiva de inserir modificações em nossa prática de ensino de Física.

Um dos objetivos dos projetos desenvolvidos pelo Greivi, mais especificamente a partir de 1990, era a ministração de Cursos de atualização, na área de instrumentação para o ensino, para professores de Ciências e Matemática, os quais ocorreram em cidades do Estado de Santa Catarina e Paraná. Nesses cursos a discussão inicial era provocada pela pergunta aos professores : o que é Ciência?. O que se obtinha como resposta era um silêncio profundo. Os professores raramente se fazem essa pergunta e refletem muito pouco sobre o objeto do conhecimento relacionado à disciplina que lecionam e, por isso mesmo, não discutem com seus alunos a esse respeito. As respostas evidenciam uma forte tendência dos docentes a considerar a Ciência como algo que sempre existiu na natureza e que o homem a descobre através dos estudos que realiza sobre ela. Essas respostas estão bem distantes da compreensão atual sobre a atividade científica, propagada pelos trabalhos mais recentes em epistemologia.

² Os projetos desenvolvidos pelo GREIVi eram financiados pela CAPES/PADCT/SPEC.

Como resultado, tanto de nossa atividade docente, quanto de nossa participação no Greivi, surgiram mais indagações que respostas. Dentre elas : que Física ensinar ? Qual a finalidade do ensino de Física no ensino de primeiro e segundo graus ? Que concepção de Ciência transmitimos aos estudantes através de nossas aulas ? E, principalmente, o que pode ser feito em sala de aula para possibilitar uma aprendizagem significativa em Física ? O que pode ser feito para reduzir as dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos alunos ?

Essas indagações constituem-se em problemas defrontados pela área de ensino de Física nos últimos tempos e, temos certeza, vão muito além deste trabalho. Dentre as dificuldades de aprendizagem do conteúdo físico apresentadas pelos alunos, identificamos que muitas delas estão relacionadas com a complexidade da estrutura do conhecimento físico e elas podem ser percebidas logo que o aluno ingressa no curso de segundo grau. É para essas dificuldades que dirigimos a nossa atenção.

Acreditamos que é possível buscar formas de superação dessas dificuldades, sem a necessidade de grandes alterações na estrutura programática. Assim sendo, o contexto educacional sobre o qual nossa análise será feita é o de uma escola pública de ensino regular propedêutico, dentro da disciplina Física.

Do ponto de vista epistemológico, partimos do pressuposto que o conhecimento científico é um produto da atividade humana na sua interação com o mundo físico. Suas principais características são a provisoriedade e a dependência direta com o contexto no qual foi produzido.

Do ponto de vista cognitivo adotamos que o conhecimento é construído na relação entre sujeito e objeto, e é através dessa interação que o objeto do conhecimento é construído. O sujeito (aluno) é o sujeito universal, cognoscente, segundo a definição de Piaget, possuidor de estruturas construídas e em construção. O objeto é o conhecimento científico que permite relações significativas com o cotidiano do cidadão, de forma a permitir a construção, pelo aluno, de concepções mais próximas do conhecimento aceito pela comunidade científica.

1.2 - CONTEXTO DO PROBLEMA

A realidade escolar tem nos mostrado que, de maneira geral, existem dificuldades em se atingir os objetivos constantes nos planos de ensino de Física, ou seja, que os alunos se apropriem do conhecimento físico correspondente aos conteúdos propostos. Nessa pesquisa investigamos as dificuldades relacionadas ao processo de ensino-aprendizagem, centrando nossa análise em aspectos cognitivos e epistemológicos, relacionados ao uso da linguagem formal da Ciência, em particular na Física. Acreditamos que uma dessas dificuldades localiza-se na primeira série do segundo grau e está relacionada à necessidade de etapas iniciadoras que viabilizem a incorporação/construção de modelos matemáticos. São estes modelos que possibilitam a compreensão dos modelos teóricos que compõem o conhecimento em Física.

O conhecimento científico, particularmente o conhecimento físico, é constituído por teorias, que são estruturadas por modelos matemáticos. As leis, princípios, conceitos, convenções etc., que se articulam mutuamente por meio de regras matemáticas bem definidas, formam o que se designa por teoria científica. Estes elementos de uma teoria estão relacionados de tal modo que os seus significados podem ser definidos pelo papel que eles desempenham dentro da estrutura conceitual. O imbricamento entre os elementos de uma teoria é tal que, partindo-se de um deles pode se chegar a outros elementos, gerando uma auto-dependência entre eles.

Ao ser transposto para o contexto escolar, este conhecimento é submetido a um processo de transformação tal, que ele passa a ser apresentado ao estudante como um corpo de conhecimento acabado e que evolui por acumulação. Durante este processo, aspectos que seriam fundamentais para a compreensão da dimensão construtiva do conhecimento científico são desconsiderados, descaracterizando-o quase por completo. A atividade científica como um processo coletivo, a complexidade da construção deste conhecimento, a Matemática como elemento estruturador das teorias científicas, são alguns desses aspectos.

Este processo de descaracterização contribui para a formação da opinião que o estudante constrói a respeito do conhecimento científico ensinado na

escola. O estudante passa a acreditar que este conhecimento é descolado da realidade em que vive e que é acessível apenas a pessoas especiais - os cientistas. A crença que o estudante tem, de que o conhecimento físico nada tem haver com a realidade vivida por ele, é ainda reforçada pela pouca ou nenhuma consideração que é dada para os conhecimentos que ele já possui. Estes motivos, dentre outros, colaboram para que se estabeleça um distanciamento entre as concepções cientificamente aceitas e a concepções apresentadas pelo aluno, mesmo após instrução formal. Ele permanece respondendo aos problemas utilizando-se de suas concepções, isto é, das representações mentais do mundo, que ele construiu ao longo de sua existência.

Ao longo de nossa atividade como professora, percebemos que uma fonte importante de problemas de apropriação e utilização do conhecimento físico tinha origem na incorporação e utilização de modelos matemáticos por parte dos alunos. Embora o instrumental matemático necessário ao aprendizado dos conteúdos de Física, em sua maioria, já estivessem disponíveis, era flagrante a dificuldade que os alunos tinham no primeiro ano para lidar com eles dentro de um contexto diferente.

Nesse sentido procuramos desenvolver neste trabalho uma discussão aprofundada sobre o papel dos modelos matemáticos no aprendizado de conteúdos científicos, físicos em particular. Nossa tese é que é possível incrementar o domínio desses modelos, por meio de atividades experimentais, facilitando a aproximação entre o conhecimento próprio dos alunos sobre os fenômenos, os conteúdos estudados na disciplina Física e o conhecimento científico. A proposição dessa tese se originou da nossa prática docente, onde percebemos que a atividade experimental se torna um elemento facilitador da construção de modelos matemáticos. Vale ressaltar que entendemos por atividades experimentais tarefas que permitam aos alunos elaborar relações que expressem regularidades construídas a partir da observação sistemática e da medida de grandezas em eventos previamente escolhidos. A forma de elaboração das mesmas e o seu alcance pedagógico são pontos a serem aprofundados ao longo do trabalho.

Por entendermos que a aprendizagem de modelos matemáticos se encontra extremamente vinculada aos conteúdos das Ciências experimentais, levantamos as seguintes questões de pesquisa : de que forma as atividades experimentais podem ser um instrumento de ensino que possibilitem o uso e o

domínio desses modelos ? A utilização de atividades experimentais pode reduzir o distanciamento entre os conhecimentos que os alunos possuem, a ciência ensinada na escola e a "Ciência dos cientistas" ?

Com relação à construção de modelos matemáticos e considerando que a noção de proporcionalidade direta está fortemente vinculada aos conhecimentos prévios dos alunos, cabe ainda colocar algumas questões : a noção de proporcionalidade que os alunos possuem ao ingressar no segundo grau é condição suficiente para a construção dos modelos matemáticos ? quando apresenta-se aos alunos situações em que não ocorre a proporcionalidade direta, há um rompimento com esta noção ou uma ampliação deste conceito ?

Para atingir os objetivos aqui colocados, discutimos, de um ponto de vista teórico, o papel da construção de modelos no conhecimento físico e o papel de atividades experimentais na construção de modelos matemáticos. Por fim, apresentamos um módulo didático, que incorpora as conclusões obtidas na discussão empreendida neste trabalho. Esta seqüência didática se constitui numa unidade de ensino, denominada "Iniciação à Ciências", que tem por objetivo possibilitar a construção de modelos matemáticos e o desenvolvimento de habilidades, como a observação intencional, a análise e interpretação de dados, a explicação e previsão de um evento.

Como definimos anteriormente, nossa investigação foi norteada por postulados básicos, nos quais se inclui o fato do conhecimento científico ser uma construção humana, decorrente de embates entre o homem e a natureza e definido por critérios internos, próprios desse conhecimento, bem como por critérios externos a ele. Por ser construção humana, é passível de erros e está em contínua transformação, não sendo, portanto, fonte de verdades absolutas.

A orientação epistemológica construtivista nos remete para a opção da concepção de aprendizagem construtivista (Driver, 1988). A opção pela concepção construtivista da aprendizagem se dá pelo fato dela levar em conta o papel essencialmente ativo de quem aprende. Nessa visão pressupõe-se que todos constroem representações do saber, que são utilizadas para interpretar a experiência. Assim sendo, os resultados da aprendizagem não dependem apenas das situações de ensino e das experiências que são propostas aos alunos, mas também são motivados pelos conhecimentos prévios.

1.3 - METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente trabalho baseia-se fundamentalmente em pesquisa bibliográfica. Entretanto com o objetivo de enriquecer as discussões, comparar resultados de outras pesquisas com a realidade na qual trabalhamos e, principalmente, em virtude de pressupormos que todos constroem representações do saber, aplicamos um questionário com o objetivo de conhecer as concepções prévias dos alunos do contexto analisado. Os sujeitos da investigação apresentada foram os alunos das primeiras séries de segundo grau do Colégio de Aplicação da UFSC, no ano de 1994. O questionário tinha por objetivo colher informações sobre a concepção de Ciência dos alunos, ao ingressarem na primeira série do segundo grau. Como mencionamos anteriormente, há algum tempo, já discutíamos a esse respeito com os professores participantes dos cursos de atualização, assim como também com nossos alunos. Mas até então, não havíamos sistematizado esta questão. Em pesquisa semelhante realizada por Ledbetter(1993) com estudantes americanos, encontramos uma metodologia que permite categorizar as respostas dos estudantes.

Pactuamos da opinião de que atividade escolar é uma atividade dinâmica, constituída por inúmeros aspectos que se interferem mutuamente. Cada ano letivo e cada turma possuem características próprias, que lhes conferem uma certa exclusividade. Assim, no ambiente escolar, os resultados de uma determinada investigação dependem do contexto no qual é realizada e devem ser relativizados. Os dados de uma investigação, por si sós, não são suficientes para generalizações e conclusões definitivas e é praticamente impossível uma interpretação exclusivamente analítica. Por este motivo as investigações que realizamos não fornecem dados a serem utilizados como provas ou apoios para as conclusões de nosso trabalho. Elas tem por objetivo fornecer indicativos para verificarmos, até que ponto, os resultados de pesquisas realizadas em outros contextos se confirmam em nossa realidade. Os resultados da consulta e comparação com a pesquisa mencionada são apontadas ao longo do trabalho. Mais detalhadamente essas informações são apresentadas no anexo I.

A maneira como entendemos o processo de construção do conhecimento científico é anunciada no capítulo a seguir. Para tanto, tomamos

como referência a interpretação da atividade científica de T. S. Kuhn (1995). Adotando a análise histórica como instrumento de pesquisa e, considerando a inseparabilidade entre observações e pressupostos teóricos, este autor propôs um modelo explicativo para o progresso da Ciência, como uma seqüência de período de Ciência Normal, interrompido por Revoluções Científicas ou período de Ciência Revolucionária, causadas por mudanças de Paradigmas.

Esta análise nos serviu para nortear a discussão a respeito de aspectos fundamentais que estão presentes no processo e no produto da atividade científica e que influenciam a interpretação desta atividade pela sociedade em geral, pela comunidade escolar e pelos estudantes. Esses aspectos determinam as semelhanças e diferenças entre a "Ciência dos Cientistas", a "Ciência da Escola" e a "Ciência dos Alunos".

Para analisarmos como o conhecimento científico se torna conteúdo escolar, baseamo-nos no conceito de Transposição didática (Chevallard, 1985). Nesta discussão, localizamos o problema que discutimos neste trabalho e identificamos a influência dos aspectos, discutidos no item anterior, que interferem na definição do "saber a ensinar" e no "saber a ser ensinado". Neste último, localizamos o papel do professor neste processo.

A última parte do capítulo 2 trata da "Ciência dos Alunos". Aqui discutimos os esquemas conceituais que o estudante constrói na sua interação com a realidade e a importância de levá-los em consideração processo de ensino-aprendizagem.

No capítulo 3, levando em consideração que cientistas e estudantes constroem modelos, mostramos as semelhanças e diferenças entre essas construções. Nesse sentido destacamos a dimensão individual e coletiva da construção do conhecimento físico e a presença da Matemática como elemento estruturador neste processo.

Na História da Ciência temos como um dos marcos fundamentais para o advento da Ciência moderna o papel desempenhado pela Matemática no seu processo de construção. Koyré(1986) em seus "Estudos Galilaicos" destaca o caráter racional das contribuições de Galileu, quando evidencia a importância que este deu à Matemática como instrumento na construção de um novo quadro teórico para a apreensão da natureza. Assim, a utilização de modelos

matemáticos se torna um elemento diferenciador entre cientistas e estudantes e fonte de dificuldades de aprendizagem no ensino de Física. Nesse sentido discutimos a construção de modelos matemáticos a partir das noções de proporcionalidade e funções. Neste momento, torna-se evidente que algumas das dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos alunos, tem sua origem na complexidade da construção de modelos matemáticos.

Outro marco fundamental da construção do conhecimento físico é a experimentação³. Ela é tida, no contexto da construção de uma teoria científica, como uma das etapas importantes do proceder científico, sendo considerada, em muitos casos, como uma atividade inerente à própria atividade científica. A experimentação tem sido um dos elementos da atividade científica que tem contribuído para a formação da imagem da Ciência como fonte de verdades da natureza. Encaminhamos nossa discussão para o ensino, enfatizando a possibilidade da experimentação ser um instrumento na apresentação do caráter construtivo e dinâmico do conhecimento físico e para a utilização de procedimentos estabelecidos coletivamente.

Considerando então que os alunos não dispõem de elementos que lhes permitam a construção de modelos, apresentamos no capítulo 4 a necessidade de etapas iniciadoras que possibilitem a construção de modelos matemáticos. Por fim propomos uma seqüência didática contemplando estas etapas iniciadoras, que se constitui numa unidade de ensino, na qual a atividade experimental é um instrumento de ensino. Tendo como referência os atos de entendimento propostos por Sierpínska (1992), a nossa proposta consiste na modelização de variáveis em eventos simples. Por meio dessas atividades objetiva-se que o aluno passe a compreender a construção de mudanças e permanências, regularidades e transformações entre grandezas.

³ Sobre o papel da experimentação na construção de teorias ver G. F. Kneller, *A Ciência como atividade humana*, 1980, pp. 98-154.

CAP. 2 - A CIÊNCIA DOS CIENTISTAS, A CIÊNCIA DA ESCOLA E A CIÊNCIA DOS ALUNOS(*)

2.1- INTRODUÇÃO

Neste capítulo inicialmente discutiremos alguns aspectos relacionados à construção do conhecimento científico pelos cientistas, o qual denominamos de Ciência dos cientistas. Nessa discussão, entendemos a atividade científica da mesma forma que Thomas S. Kuhn. Enquanto construção humana é um processo dinâmico, repleto de criação e novidades. Contudo, a tradição também tem seu lugar, pois é norteada por paradigmas consolidados, nos quais os cientistas se baseiam para desenvolver seus trabalhos.

Levando em conta a preocupação com o produto da atividade científica, em particular com as implicações da estrutura complexa do conhecimento físico no processo de ensino-aprendizagem, procuraremos analisar de que forma o conhecimento científico se torna conteúdo físico escolar. É nesse contexto, que localizaremos o problema que enfocamos nesse trabalho.

Tendo em vista que os alunos, ao chegarem à escola secundária, já trazem concepções próprias sobre a natureza e sobre o conhecimento científico, discutiremos sobre a Ciência dos alunos, indicando o que as pesquisas em ensino nos apontam como resultados sobre o assunto.

(*) Ciência dos Cientistas (Ledbetter, 1993), Ciência da Escola (Angotti, 1991) e Ciência dos Alunos (Driver, 1978) (Gilbert & Osborne, 1980) (Saltiel, 1981) (Fleming, 1988). Os autores mencionados, dentre outros, também utilizaram estas designações para se referirem a respeito da concepção de Ciência apresentada por esses grupos.

2.2 - A CIÊNCIA DOS CIENTISTAS

2.2.1 - A versão kuhniana da produção científica : A Ciência como resultado da adesão a um paradigma

A busca do entendimento de como surge o conhecimento científico não é nova e é fonte de controvérsias. A História registra que o homem, desde a mais remota antiguidade, buscou explicações e procurou respostas sobre o que e como pensa sobre si e sobre as coisas que o cercam. Porém, é a partir do século VI a.C. com os gregos, Tales, Heráclito, Parmênides, Sócrates, Platão, Aristóteles, entre outros, que se inicia uma série de explicações sobre o mundo natural. Esses filósofos representam o esforço de um pensamento racional, mais desligado de mitos, na procura do princípio de todas as coisas (Ronan, 1987).

Mais que explicações particulares sobre a natureza, as respostas dos gregos se referiam a questões amplas, ou princípios metafísicos, que se fazem presentes ainda hoje nas indagações do homem a respeito do universo e de si mesmo, tais como: mobilidade/imobilidade, contínuo/descontínuo, finito/infinito. Esses princípios inspiraram alguns cientistas importantes, embora esses nem sempre admitiram ou tiveram consciência dessa influência (Kneller, 1980). Na Física, Kneller identifica a presença de dois desses princípios: o atomismo e o continuísmo. Nos trabalhos de Newton encontra-se a defesa do atomismo, princípio segundo o qual o mundo é composto por unidades distintas, que ocupam pontos ou regiões no espaço vazio. D'Alembert, Lagrange e Laplace, entre outros, são também personagens importantes nesta linha de pensamento. Este princípio havia sido proposto por Demócrito na antiguidade. Já o continuísmo, idéia atribuída a Parmênides e também defendida por Aristóteles, pode ser identificado nos trabalhos de Descartes, Leibniz, Huyghens, Faraday, entre outros. O continuísmo caracteriza-se pela aversão ao vazio, por isso, considera que a matéria está presente em toda parte.

A partir do século XVII, iniciou-se a constituição de um conjunto de conhecimentos que deu respostas satisfatórias a problemas antigos e que por sua sofisticação, utilização de métodos etc., passou a ser definida como Ciência Moderna. A revolução científica, promovida essencialmente no século XVII pela Ciência Física, exerceu forte influência sobre a atividade filosófica.

Várias tentativas de definir o processo de construção do conhecimento científico foram propostas. As idéias empiristas e racionalistas, que enfatizavam o método como forma de validação do conhecimento, influenciaram o pensamento filosófico desde o século XVII até o início do século XX (Nussbaum, 1989).

O racionalismo é a visão filosófica que salienta o poder da razão para se chegar a verdade. A fonte principal do conhecimento humano é o correto encaminhamento do pensamento. Nessa visão, a importância do método de pensamento está na necessidade de garantir que as imagens mentais correspondam aos objetos a que se referem. Os racionalistas caracterizam-se por entender que o conhecimento pode ser adquirido primariamente pelo poder do intelecto e portanto depende de estruturas mentais. Descartes e Kant representam variações dessa corrente filosófica.

A visão empirista caracteriza-se por admitir que a origem do conhecimento científico é a experiência. Nessa visão o conhecimento verdadeiro reside fora do homem, não pode ser obtido guiado unicamente pela razão e deve se basear na observação neutra e na experimentação. É portanto adquirido e pode ser descrito por termos absolutos como: "verdade", "prova", "confirmação" etc.

Bacon, um dos expoentes do empirismo, acreditando no progresso e poder sobre a natureza através da Ciência, vinculou progresso científico ao progresso tecnológico, material e moral. Acreditava que o intelecto humano fazia generalizações que impediam o conhecimento. Por esse motivo, defendia a idéia de que o verdadeiro conhecimento era aquele descoberto fora do homem, por meio de observações objetivas e imparciais da natureza que, por indução, resultariam em leis e teorias.

Locke, Hume, Comte, Hempel, são nomes que, segundo Nussbaum (1989) representam variações da visão empirista. Comte, em particular, ao aprofundar o questionamento sobre as bases do conhecimento científico, inaugura a corrente positivista, que tornou-se muito influente, no início do século XX, na visão epistemológica do positivismo lógico.⁽⁴⁾

⁴ Positivismo lógico - movimento doutrinário, fundado por Moritz Schlick, que se caracterizava pela valorização do cientificismo, associando o empirismo ao formalismo lógico

Até o século XIX o grande desenvolvimento proporcionado pela Ciência convenceu o homem de sua capacidade de conhecer o mundo por meio dela e de que o método científico era o melhor caminho para o conhecimento da realidade. Entretanto alguns pensadores como Duhem, Poincaré e Mach já colocavam em dúvida os métodos das Ciências da natureza. Poincaré desvia a atenção para o caráter utilitário das teorias para mostrar que a crença na infalibilidade da ciência é uma ilusão.

"As mudanças de idéias provocadas, dentre outros fatores, pela Física Moderna começaram a minar a crença de que a ciência é fonte de conhecimento verdadeiro. Argumentos filosóficos, psicológicos e lógicos foram utilizados para demonstrar que o conhecimento não pode ser provado ou confirmado. (Popper, 1959). Isto conduziu para a proposta de que o conhecimento não é descoberto mas é uma construção humana (e é sempre subjetiva)" (Nussbaum, 1989, tradução nossa).

Contrariando as visões filosóficas anteriores surge, no início do século XX, a visão filosófica construtivista, propondo que o conhecimento científico é uma construção humana transitória e dinâmica, que não é fruto de puro pensamento, nem espelho fiel da realidade. O construtivismo substitui o "absolutismo" da tradição empirista e racionalista (Nussbaum, 1989).

O construtivismo pressupõe que a teoria precede a observação, pois as observações são selecionadas e orientadas por meio de expectativas teóricas. A construção de teorias depende de como o homem vê o mundo. A idéia de que somos prisioneiros de nossas estruturas mentais (surgida com Kant) é descartada pela visão construtivista, que assume a possibilidade do homem romper com as estruturas e construir uma nova.

Popper, Bachelard, Kuhn, Lakatos e Feyerabend, são epistemólogos contemporâneos que apresentam, no bojo da visão construtivista, diferentes possibilidades de interpretação da atividade científica.

matemático. Para os partidários desta doutrina, o conhecimento verdadeiro era aquele que podia ser provado a partir de postulados científicos.

O entendimento sobre a atividade científica que tomamos como referência foi proposto por Thomas S. Kuhn, ao criticar tanto o positivismo lógico, quanto a análise prescritiva da Ciência empreendida por Karl Popper.

Foi convivendo em uma comunidade constituída, em sua maioria, por cientistas sociais que Kuhn verificou a existência de padrões de conduta aparentemente diferentes daqueles presentes entre os cientistas das Ciências Naturais. Em particular, ele constatou a existência de muito desacordo no que diz respeito à natureza dos métodos e problemas científicos legítimos entre os cientistas sociais. Essa característica levava o conhecimento produzido nessa área a ter uma valoração muito relativa, visto que grupos discordavam dos padrões empregados na obtenção dos mesmos, não lhes conferindo caráter absoluto. Kuhn começou a duvidar de que os cientistas das Ciências Naturais possuíssem respostas mais firmes que os outros, entretanto percebia que, normalmente, os fundamentos da Física, da Astronomia, da Química ou da Biologia não eram questionados. Para tentar caracterizar a diferença entre os cientistas da área de Ciências Sociais e os cientistas da área de Ciências Naturais, que ele construiu o conceito de "paradigma" (Kuhn, 1995,13).

Para realizar sua investigação, delimitou o seu campo na atividade científica, deixando de lado neste momento, discussões sobre o papel do avanço tecnológico ou das condições sociais, econômicas e intelectuais no desenvolvimento da Ciência, mesmo crendo que essas condições pudessem influenciar o desenvolvimento científico.

Utilizando a análise histórica da atividade científica, passou a defender seus pontos de vista sobre como ocorre o desenvolvimento científico. Entretanto coloca que, embora a História possa produzir transformações decisivas na imagem de Ciência que se tem, não existe garantia de que através dos livros, sejam eles livros clássicos, manuais utilizados por estudantes das Ciências Naturais ou de História da Ciência, se consiga fazer surgir um novo conceito de Ciência. Isso porque, para ele, a maioria desses livros descrevem o desenvolvimento da Ciência por acumulação, do qual ele discorda.

Kuhn definiu inicialmente paradigma como sendo "*realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma Ciência*" (Kuhn, 1995, 13). O termo paradigma é utilizado por Kuhn em vários momentos e com significações diferentes. Isso gerou um certo número de

críticas da parte da comunidade de filósofos da Ciência. As respostas a estas e outras críticas constituíram-se no posfácio do livro referenciado, a partir da edição de 1969, no qual redefiniu mais claramente o termo, apresentando-o em dois sentidos. Num sentido mais geral, também dito o sentido sociológico do termo, é melhor designado por matriz disciplinar. São crenças⁽⁵⁾, valores compartilhados, tradições coerentes, constituídos por generalizações simbólicas⁽⁶⁾, leis, teorias, aplicação e instrumentação, realizações científicas universalmente reconhecidas que fornecem problemas e soluções modelares, durante certo tempo, para um determinado grupo de praticantes de uma Ciência. Num sentido mais restrito o termo paradigma é também entendido como "exemplares" ou exemplos compartilhados. Nesse sentido é definido como soluções concretas de "quebra-cabeças", problemas e soluções técnicas relacionados a um campo de conhecimento específico. Para esta situação, paradigma está relacionado à resolução de problemas pelo estabelecimento de comparações com situações similares, para as quais um conjunto de pressupostos permitiu a solução.

Um paradigma pode ser caracterizado pelo fato de atrair um grupo duradouro de partidários e por ser fonte de problemas abertos para serem resolvidos. No conjunto paradigmático tem importância, tanto as leis e teorias, quanto os procedimentos e aplicações, pois o pressuposto de que determinados fatos ocorrerão influencia, conscientemente ou não, na decisão de utilizar um aparelho e o modo de empregá-lo. A maturidade de um campo científico está vinculada à aquisição e compartilhamento de um paradigma. Isto porque os adeptos de um paradigma não precisam anunciar seus pressupostos. Eles já são conhecidos. Estão nos manuais. Os trabalhos são apresentados na forma de artigos que são lidos por aqueles que compartilham do paradigma. Quanto mais sólido é um paradigma, mais distanciado das pessoas que não o conhecem ficam os conhecimentos originados por ele, pois os leigos não detêm a linguagem paradigmática.

Ciência normal e paradigma são duas definições estreitamente vinculadas. O período de Ciência normal é caracterizado pela adesão estrita e dogmática dos cientistas a um paradigma. Ciência normal é definida como

⁵ Por crenças Kuhn se refere a crenças em modelos, inclusive os modelos estabelecidos por analogias e metáforas.

⁶ Generalizações simbólicas são os componentes formais de uma matriz disciplinar, às vezes expressas de forma simbólica, que podem expressar uma lei e/ou definir os símbolos que nelas aparecem., como por exemplo : $f = m \cdot a$ ou $i = V/R$.

sendo o período no qual a pesquisa é fundamentada em realizações científicas que são reconhecidas pela comunidade. No período de Ciência normal é inexpressivo o interesse na produção de grandes novidades, tanto no domínio dos conceitos, quanto no domínio dos fenômenos. Para Kuhn, um paradigma não traz resposta a todos os problemas, mas sim uma promessa de sucesso na solução dos mesmos. *"A ciência normal não objetiva revelar novas espécies de fenômenos, muitas vezes os novos nem são vistos. E os cientistas não estão preocupados em buscar novas teorias... a pesquisa científica normal está dirigida para a articulação daqueles fenômenos e teorias já fornecidos pelo paradigma"*(Kuhn, 1995, 45). Nesse período os cientistas se preocupam em resolver problemas, que são encarados como "quebra-cabeças". Para esses "quebra-cabeças" o cientista converge sua atenção, preocupando-se em determinar fatos significativos, adequar fatos e teorias e/ou articular as teorias, de acordo com o paradigma existente.

A metáfora da Ciência normal como quebra-cabeça se esclarece pela existência do paradigma como se fosse as "regras do jogo". Entretanto os paradigmas podem dirigir a pesquisa mesmo sem a existência de regras ou a explicitação delas. Em uma "Ciência madura" é fácil detectar a existência de paradigmas, mas as regras utilizadas nem sempre o são. Os cientistas podem concordar na identificação de um paradigma, mas discordar quanto a uma interpretação a respeito dele. O paradigma é um conhecimento tácito que nem sempre pode ser articulado explicitamente e que dispensa o esclarecimento de regras.

Kuhn acredita que a adoção de um paradigma propicia o avanço mais efetivo de um campo científico. Já uma comunidade científica em situação pré-paradigmática, (isto é, quando não existe um paradigma definido e há a convivência de várias interpretações), ocorre dispersão das atenções, pois cada um dos grupos se concentra nos problemas que suas interpretações podem resolver. Segundo ele, adotado um paradigma, as pesquisas avançam mais rapidamente.

A adoção dogmática de um paradigma caracteriza o que Kuhn define como "Ciência madura", pois permite que os membros da comunidade se dediquem à ampliação e aprofundamento contínuo do conhecimento científico. Por isso, o período de Ciência normal pode ser caracterizado como de atividade conservadora e cumulativa, porém essencial ao trabalho científico. A adoção de

mais de um paradigma causaria confusão, uma vez que a interpretação sobre um mesmo objeto é diferente quando analisado por paradigmas diferentes.

A Ciência normal não se propõe a descobrir novidades ou contestar o paradigma no qual está embasada. Como o estudante, futuro cientista, aprende as bases de um paradigma e é doutrinado nele, raramente apresentará discordância a respeito de seus pontos fundamentais. Entretanto, fenômenos novos e inesperados aparecem como resultados das investigações e, como consequência, ocorrem as descobertas e as invenções. Essas novidades alteram o conjunto paradigmático, que a partir daí, não será o mesmo de antes. O mundo do cientista se altera qualitativa e quantitativamente pelas novidades dos fatos e teorias.

A descoberta científica, segundo Kuhn, é consequência de uma Anomalia - ou seja, de um fenômeno para o qual o paradigma não prepara o investigador, é a natureza não se comportando de acordo com as expectativas do paradigma. Esforços passam a ser dirigidos para que a teoria se ajuste ao fato. Este processo não se dá de uma hora para outra pois *"a descoberta de um novo tipo de fenômeno envolve o reconhecimento, tanto da existência de algo, como de sua natureza"* (Kuhn, 1995, 81) e o cientista apresenta uma certa resistência a ver as anomalias, devido às expectativas que ele tem. *"Contudo, uma maior familiaridade dá origem à consciência de uma anomalia ou permite relacionar o fato a algo que anteriormente não ocorreu conforme o previsto. Essa consciência da anomalia inaugura um período no qual as categorias conceituais são adaptadas até que o que inicialmente era considerado anômalo se converta no previsto. Nesse momento completa-se a descoberta"*. (Kuhn, 1995, 91).

A crise gerada pela impossibilidade de resposta do paradigma vigente a uma anomalia pode resultar em três situações, segundo Kuhn. A primeira delas é a resolução da anomalia pelo próprio paradigma. A segunda situação é o surgimento de um novo candidato a paradigma, com sua consequente batalha para ser aceito. E por último, a anomalia pode não ser resolvida por nenhum paradigma. Neste caso o trabalho para a sua solução é deixado para uma nova geração de cientistas.

Embora o período de Ciência normal se caracterize por ser um período de empreendimentos não dirigidos a novidades, ele pode ser eficaz em

provocá-las, pois quanto mais consolidado um paradigma, mais sensível ele será como indicador de anomalias, que aparecem mais claramente contra o pano de fundo proporcionado pelo paradigma. *"A ciência normal - um empreendimento não dirigido para novidades e que a princípio tende a suprimi-las - pode, não obstante, ser tão eficaz para provocá-las."* (Kuhn, 1995, 91).

A invenção de novas teorias surge da consciência mais profunda das anomalias, num período de crise gerada pelo fracasso constante em conseguir os efeitos esperados. *"A emergência de novas teorias é precedida geralmente por um período de insegurança profissional pronunciada"* (Kuhn, 1995, 95) causado por alterações nos problemas e técnicas da Ciência normal e destruição de paradigmas.

Pela necessidade de estabelecer novas regras, surgem várias versões de teorias sobre o mesmo tema que competem entre si. O surgimento de várias versões de teorias podem gerar crise no paradigma de onde emergiram.

A teoria nova surge devido ao fracasso ocorrido na resolução de problemas na Ciência normal. A solução do problema pode ter surgido antes da crise, mas não é percebida pois ela ainda não ocorreu. A escolha de novas teorias ou de um novo paradigma pode ter determinantes históricos e externos à Ciência. Porém, uma teoria antiga com status de paradigma só é invalidada quando existe uma alternativa disponível e consistente para substituí-la. *"Rejeitar um paradigma sem simultaneamente substituí-lo por outro é rejeitar a própria Ciência"*. (Kuhn, 1995, 108)

Este período de competição entre o paradigma vigente e o emergente é o que é denominado de período de Revolução Científica.

Revolução científica é, portanto, processo de mudança paradigmática. Período no qual ocorre a substituição ou mudança de paradigmas. Os questionamentos da validade de métodos e teorias geram crise, resultando no surgimento de novo paradigma, que promete solução de problemas importantes. Membros da comunidade científica resistem ao novo, mas se ele responde bem à solução de problemas que o originaram, passa, pouco a pouco, a ser aceito, tornando-se então o paradigma dominante.

O período de revolução científica⁽⁷⁾, segundo Kuhn, não pode ser classificado como um processo cumulativo obtido através da articulação entre o velho e o novo paradigma. É um período de reconstrução.

Kuhn denominou este período de revolução, pela analogia que faz entre um momento de revolução política e mudança paradigmática. Para ele, ambas surgem da insatisfação de um grupo com situações geradas pelo próprio paradigma. Em ambas ocorre competição entre os campos, onde uns defendem a permanência e outros a mudança.

Durante um período de transição, o antigo paradigma e o novo competem pela preferência da comunidade. Eles apresentarão concepções diferentes da natureza e proporão questões que considerarão significativas, legítimas e fundamentais. Os paradigmas rivais oferecem lentes conceituais diferentes, por meio das quais o mundo passa a ser visualizado. Do ponto de vista do novo paradigma, alguns conceitos do paradigma antigo perderão importância ou passarão a ter significados diferentes.

Para mostrar essas diferenças em ver o mundo, Kuhn utiliza a expressão "incomensurabilidade de paradigmas", já que ele considera que os defensores de cada um dos paradigmas estarão se expressando com linguagens diferentes, o que inviabiliza, a priori, uma comunicação entre os dois grupos. Portanto, julga necessário buscar um processo de "tradução" para racionalizar os debates entre os paradigmas. Esse processo de tradução consiste na busca de um vocabulário compartilhado, em encontrar uma forma de estar no lugar do outro. Ao invés de fundamentadas em provas lógicas, as decisões envolvendo a escolha entre teorias dependerá de discussões entre os membros da comunidade, os quais compartilham de valores, tais como, precisão, consistência, amplitude de aplicação, simplicidade e fertilidade, que serão utilizados na comparação entre as teorias rivais.

Embora anteriormente outros epistemólogos, como Bachelard⁽⁸⁾ em 1938 e Popper⁽⁹⁾ em 1959, tenham apresentado concepções sobre a natureza do

⁷ O termo revolução científica é adotado por Kuhn também para mudanças menores, não só para alterações radicais de concepção de mundo.

⁸ Bachelard, G. *O novo espírito científico*. Rio de Janeiro, Tempo brasileiro, 1968.

⁹ Popper, K. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo, Ed. Cultrix, 1975.

conhecimento científico, as idéias defendidas por Kuhn desencadearam um série de discussões, que contribuiram para o aprofundamento de reflexões sobre o tema. Surgiram também alguns questionamentos sobre determinados pontos de vista de Kuhn, sendo que um deles, como mencionamos anteriormente, dizia respeito à definição de paradigma. Outro questionamento é quanto ao fato dele considerar paradigmas rivais incomensuráveis. Face às críticas que recebeu de Lakatos, Popper e Scheffler, Kuhn explicitou melhor o que queria dizer sobre incomensurabilidade de paradigmas no posfácio de 1969 (Kuhn, 1995, 217).

Também causou bastante polêmica a posição de Kuhn sobre a atitude dogmática do cientista frente a um paradigma. Kuhn dá substancial importância à existência de regras claramente estabelecidas e que são seguidas pelos praticantes de uma determinada atividade científica. Quando discute sobre isso, discorda do espírito aberto do cientista, o investigador sem preconceitos, defendido pelo positivismo lógico, como também da atitude de falseamento que Popper prescrevia ao cientista. Essa última atitude Kuhn até admite que o cientista pode ter, mas apenas no período de revolução científica, quando está em busca de um novo paradigma que lhe aponte melhores possibilidades na resolução de um problema. O cientista é treinado dentro de um paradigma e este pressupõe a adesão dogmática a preceitos integrantes deste paradigma, bem como a crença de que os problemas com que se defronta podem ser resolvidos por ele. Para Kuhn, a existência do dogma é condição para que uma Ciência seja considerada madura. Pois, para ele, a partir da aceitação dogmática de um paradigma é que os cientistas podem orientar seus estudos para problemas complexos e aprofundá-los, sem se preocupar com pressupostos, já assegurados pelo paradigma adotado. Até porque é do estudo profundo dos problemas que surgem as anomalias possíveis de provocar uma mudança paradigmática. A adoção dogmática de um paradigma é, portanto, fator de aumento de eficiência na investigação⁽¹⁰⁾.

Nas atas do "Seminário Internacional sobre Filosofia da Ciência", de 1965, sobre a "Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento", as críticas a esse e outros pontos de vista de Kuhn podem ser facilmente encontradas nas falas de alguns filósofos:

¹⁰ Uma ênfase mais acentuada da defesa de que a Ciência normal avança devido à adoção dogmática de um paradigma pode ser encontrada no seu trabalho de 1963 *A função do dogma na investigação científica* (Kuhn, 1974), o qual, com algumas modificações, também integra o livro referenciado *A Estrutura das Revoluções Científicas*, publicado inicialmente em 1962.

Karl Popper admitiu a existência da Ciência normal, mas considerou-a uma prática perigosa, desenvolvida pelo profissional não-revolucionário, não crítico. Para ele o cientista normal foi mal ensinado. Foi ensinado a aceitar o dogma dominante sem perguntar a razão das coisas. Embora admitisse a necessidade de algum dogmatismo, discordava do "*domínio de um dogma imperante por períodos consideráveis*" (Popper, in Lakatos & Musgrave, 1979, 68), que segundo ele é defendido por Kuhn. Já Stephen Toulmin acusa Kuhn de usar a palavra dogma obtendo um efeito que resulta "*de certo exagero retórico implícito ou de um jogo de palavras*" (Toulmin, in Lakatos & Musgrave, 1979). Ele não vê como dogmas muitos dos pontos caracterizados como tal por Kuhn.

John Watkins interpretou a descrição de Kuhn sobre comunidade científica como uma sociedade essencialmente fechada, cujos componentes estão sujeitos a paradigmas sagrados e constantemente abalada por colapsos nervosos coletivos, para se referir aos comentários de Kuhn sobre a crise gerada pela falta de respostas de um paradigma a um determinado problema (Watkins, in Lakatos & Musgrave, 1979, 34). Por esse motivo, o acusou de estabelecer uma analogia entre a comunidade científica e a comunidade religiosa.

Do nosso ponto de vista, a descrição da atividade científica apresentada por Kuhn, a despeito das críticas recebidas, é uma concepção da natureza do conhecimento científico que nos fornece bons subsídios para a compreensão do processo de construção desse conhecimento pelos cientistas. Para nós, a idéia da existência de paradigmas e de revoluções científicas, contribuem fundamentalmente para a interpretação de que os critérios de produção e validação do conhecimento científico são baseados em pressupostos estabelecidos coletivamente. Tanto a adoção de um paradigma por determinada comunidade científica, quanto a substituição de um paradigma por outro não é uma escolha individual de um cientista. Elas dependem da definição e aceitação da comunidade na qual o cientista está inserido. "*O conhecimento científico, como a linguagem, é intrinsecamente a propriedade comum de um grupo ou então não é nada. Para entendê-lo precisamos conhecer as características essenciais dos grupos que o criam e o utilizam.*" (Kuhn, 1995, 257)

Outra contribuição dessas idéias é para a compreensão da aparente simplicidade de que se reveste o conhecimento científico, especialmente para aqueles que participam da prática científica. O processo de formação de um

cientista inclui a incorporação dos pressupostos e das práticas de um paradigma, de uma maneira tal que pode ser comparada com a aprendizagem de um determinado jogo, como o jogo de dominós, por exemplo. No dominó, um objeto de material qualquer, com dois conjuntos de determinadas quantidades de pontos, variando de zero a seis, marcados em uma de suas faces, passa a se constituir uma peça deste jogo. Para aprender a jogar é necessário conhecer determinadas regras antes mesmo de iniciar o jogo, como a seqüência que deve ser obedecida para a colocação de uma peça durante o jogo, quem ganha o jogo, quantas pessoas podem participar do jogo etc. Outras regras são aprendidas participando do jogo, muitas delas sem serem explicitadas, de modo que a pessoa vai aprendendo a distinguir se uma peça pertence a determinado jogo, quais os limites de variação que pode ter uma peça de um determinado jogo, dependendo das peças que recebe em uma jogada qual a estratégia a ser seguida na partida etc. Desse modo, a pessoa se familiariza de maneira tal com o jogo que passa a percebê-lo como algo simples de fazer, sem se dar conta da complexidade que o jogo se reveste. Já para uma pessoa que pouco ou nada conhece sobre o jogo, ele pode parecer bastante complicado e incompreensível. Um jogador ao ver um objeto retangular com as características descritas anteriormente imediatamente associará este objeto a uma peça do jogo de dominós, já uma pessoa que não conhece o jogo não conseguirá estabelecer esta associação. O objeto, para este último, é apenas uma peça retangular com pontos pintados em uma das faces, não uma peça de um jogo.

De maneira semelhante a esta descrição sobre o jogo de dominós, os cientistas utilizam dos pressupostos e regras de determinado paradigma de modo que, a simples referência a um determinado conceito é suficiente para estabelecer conexões com outros conceitos deste paradigma. Enquanto que para eles parece bastante simples estabelecer estas conexões, para um indivíduo comum não o é.

O modelo kuhniano pode também nos auxiliar a compreender, do ponto de vista epistemológico, algumas das razões que contribuíram para a formação da imagem ou opinião que a sociedade em geral tem da Ciência. Entendemos, tal como Kuhn que, nos períodos de Ciência normal, os cientistas mergulham em suas pesquisas orientados por um paradigma e que, conscientemente ou não, ocorre a aceitação dogmática dos pressupostos do paradigma. Como os períodos de Ciência normal são relativamente mais longos que os períodos de revolução científica e é nos períodos de Ciência normal que

os resultados das pesquisas são mais freqüentemente anunciados, a imagem que a sociedade em geral tem da Ciência é fortemente influenciada pelo seu caráter dogmático.

Além disso, como bem coloca Kuhn, a Ciência é escrita do ponto de vista do paradigma dominante, o conhecimento passado nos livros e publicações científicas é apresentado como um esforço na direção deste paradigma. Dessa forma, ficam amenizadas as descontinuidades que caracterizam as revoluções científicas e é induzida uma imagem de progresso científico linear e contínuo. Embora essa crítica de Kuhn tenha sido feita para as publicações existentes na época em que escreveu o seu livro, "*A Estrutura das Revoluções Científicas*" em 1962, ela ainda hoje é tema de atualidade, visto que essas características continuam presentes nas publicações atuais, tendo variado tão somente os paradigmas que as orientam. Atualmente, mesmo existindo publicações cujos autores se preocupam em mostrar o processo de construção do conhecimento científico, é a imagem de progresso linear e contínuo que é transmitida para o grande público através da maioria dos jornais, documentários e revistas e para os estudantes através da maioria dos livros didáticos.

Então, a ênfase ao caráter dogmático da atividade científica no período de Ciência normal e a apresentação do produto da atividade científica como um esforço na direção do paradigma dominante, reforçam a imagem que a sociedade em geral tem da Ciência. Essa imagem é de que o conhecimento científico trata-se de um corpo de conhecimento acabado e imutável, obtido por acréscimo de novos conhecimentos aos anteriores. Como a sociedade em geral tem acesso apenas ao produto da atividade científica, passa a acreditar na existência de um método que garante a qualidade desse produto e dá credibilidade a ele. De maneira geral, a sociedade encara os cientistas como uma categoria especial de seres humanos, seres "iluminados", de inteligência superior que conseguem descobrir, extrair verdades da natureza, por meio de experiências. De nosso ponto de vista, acreditamos que esses aspectos tem contribuído para a concepção absolutista e empirista que a sociedade em geral tem da Ciência.

É possível detectar a credibilidade que a sociedade em geral tem no produto da Ciência pelo argumento comumente utilizado em propaganda, na qual determinado produto é apresentado como "cientificamente comprovado" e é utilizado, como garoto(a) propaganda, uma pessoa dentro de um laboratório,

vestido de "cientista". Recentemente, tivemos a oportunidade de ver a utilização dessa credibilidade em duas propagandas. Em uma delas, de arame farpado, o produto tinha suas qualidades exaltadas quando era comparado aos outros, porque estava em "perfeitas condições, como se fosse novo" após ter sido colocado em um equipamento sofisticado, que simulava as condições ambientais às quais o arame estaria sujeito quando se transformasse em cerca. Obviamente, o apresentador era um senhor, de óculos e guarda-pó, que representava a figura do cientista. Em outra propaganda, determinado sabão em pó, era mostrado passando por testes executados por um cientista, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas, nos quais "métodos experimentais de comparação entre os produtos" eram descritos e mostrados como isentos e criteriosos. No final do teste, a frase : "Está comprovado, o produto tal é melhor !". Por esses dois exemplos podemos verificar que nas propagandas desse gênero, seus criadores se utilizam da credibilidade que o público consumidor tem na Ciência, considerando que o que é "cientificamente comprovado" é uma verdade.

Ao nos referirmos à sociedade em geral, estamos pensando na sociedade brasileira, pois é nela e sendo influenciada por seus padrões e valores que está a comunidade escolar onde trabalhamos. Portanto não podemos deixar de considerar esses aspectos, ao tentarmos estabelecer o perfil da concepção de Ciência que esta comunidade tem. Não nos parece estranho, então, que os membros desta comunidade interpretem essa atividade humana como fonte de verdades acumuladas, obtidas por meio de experiências.

No item a seguir discutiremos as características do produto da atividade científica, ou seja, o conhecimento científico. Nosso interesse estará voltado para as relações que se estabelecem entre os diversos elementos que compõem esse conhecimento, suas funções individuais e coletivas.

2.2.2 - O conhecimento físico enquanto estrutura complexa

Na sessão anterior, nos ocupamos em promover uma análise, à luz do modelo kuhniano, dos modos de produção da Ciência. Dessa discussão emergiu de forma clara o nível de complexidade da atividade científica, reinterpretando as relações que se estabelecem entre os cientistas e entre esses e seu objeto de estudo. No momento, nosso interesse passa a ser a realização de uma análise do mesmo tipo sobre o produto dessa atividade - o conhecimento científico.

Tendo em vista os objetivos deste trabalho, nossa discussão estará centrada no conhecimento físico. Acreditamos no entanto, que muitas das considerações que aqui serão feitas, valem para o conhecimento científico em geral.

O conhecimento físico, que tem por objetivo a descrição mais exata possível de fatos observados ou produzidos a partir de uma teoria pré-existente, é, de forma geral, um corpo articulado de conceitos, leis, princípios, convenções, que se relacionam por meio de operações lógico-formais e se articulam por meio de regras matemáticas.

Um conceito científico é a representação de um objeto de conhecimento no interior de um campo de validade e se caracteriza por explicar e prever diversas situações. Um conceito científico pode ser expresso por uma frase, ou por um código gráfico ou matemático e, pode ser formulado de maneira diferente em relação a diferentes níveis de abstração, que depende do campo conceitual do qual ele faz parte. Assim, do ponto de vista da Ótica Geométrica a luz pode ser definida como aquilo que é emitido por uma fonte material e pode explicar eventos de reflexão e refração. Para a Ótica Física, ela passa a ser definida como constituída de radiações eletromagnéticas e, nesse caso, pode explicar efeitos como a sua decomposição em um espectro, a difração e a polarização. (Astolfi, 1995)

As teorias físicas são as estruturas que representam esse conjunto de elementos, unindo as leis e os fatos em uma unidade coerente, que na maioria das vezes é traduzida por um modelo. As teorias são organizadas em estruturas lógico-matemáticas, de forma auto-consistente⁽¹⁾. Cada conceito tem um

¹ Devido a sua forma auto-consistente uma teoria da Física pode ser representada por meio de um mapa conceitual. O mapa conceitual permite uma visualização da organização interna de

significado e um lugar dentro da teoria, determinando a teoria ao mesmo tempo que é determinado por ela. Os conceitos são articulados entre si de tal modo que, partindo-se de um deles pode se chegar aos demais. Por essa forma de organização, uma teoria pode também permitir interpretações diferentes, que dependem do ponto de vista de cada indivíduo. (Robilotta, 1988) (Pietrocola, 1993) A estrutura que representa o conhecimento possui, dessa forma, uma organização particular, sendo permeado por uma troca constante entre parte e todo. Todas essas características do conhecimento físico lhe atribuem uma complexidade própria, nem sempre evidente. Se lembrarmos da discussão anterior, Kuhn deixa claro que, na sua formação, o cientista passa por um processo de incorporação de um paradigma que faz com que conviva passivamente com ele e com os conhecimentos produzidos no interior do mesmo. Assim, é pouco provável que o físico se dê conta da complexidade do conhecimento com o qual ele lida no seu dia-a-dia.

Uma análise da complexidade do conhecimento físico é feita por Pietrocola (1993). Ao aprofundar questões relativas aos aspectos individuais e coletivos do conhecimento científico, analisa essa complexidade considerando-a sob dois aspectos complementares: sua estrutura temporal e sua estrutura espacial.

A estrutura temporal leva em consideração questões relativas às raízes históricas da elaboração do conhecimento, isto é, está relacionada com os processos de obtenção do conhecimento e seus contextos históricos. Nesse aspecto é enfatizada a importância de localizar o conhecimento físico no âmbito das atividades humanas e por isso dependente do momento histórico no qual foi construído. Dessa maneira, determinado conhecimento físico traz consigo toda a dinâmica de produção científica do qual ele é fruto.

A estrutura espacial trata das questões relacionadas com a organização interna do conhecimento físico, isto é, no que diz respeito a sua coerência interna, auto-consistência e sua característica de ser auto-contida. Nesse sentido, Pietrocola salienta a característica cíclica desse conhecimento, no qual os conceitos são dispostos em redes, de modo que os seus significados

uma teoria, onde se inserem os elementos lógico-rationais, enquanto que no exterior dela se localizam as suas relações com a realidade. Uma explicitação da articulação entre os conceitos de uma teoria pode ser encontrada no trabalho de Salém (1986), que apresenta o conjunto de relações entre os conceitos por meio de mapas conceituais.

são obtidos pela função que cada um deles desempenha na mesma. (Pietrocola, 1993, 5)

Pietrocola ainda chama a atenção para o fato de que o nível de organização e coerência de uma teoria científica pode transmitir uma falsa idéia de simplicidade para aquele que já a incorporou. Algo parecido ocorre com o conhecimento que temos a respeito de um jogo. Aquele que é experiente na sua prática não vê dificuldades em jogar e, muitas vezes, subestima a habilidade necessária para fazê-lo. O mesmo não ocorre para alguém que se depara com o jogo pela primeira vez. Para este último tudo é novo e o jogo pode não lhe parecer nada simples.

Essa dialética entre o complexo e o simples é uma grande fonte de dificuldades no ensino da Física. A dimensão estrutural do conhecimento parece indicar que os não iniciados se sentem impotentes frente a um conhecimento cuja complexidade os esmaga. Ao mesmo tempo, um profissional não "percebe" claramente a complexidade desse objeto, justamente por dominá-lo. Isso porque, não raro, alguns dos conceitos, leis, princípios etc, integrantes de uma teoria sofreram modificações ao longo do tempo, que podem ser mais facilmente justificadas quando acompanhamos o processo de construção dos mesmos. Entretanto essas modificações não aparecem no produto da atividade científica. As contradições, o contexto da descoberta, as crises geradas pelas anomalias, as mudanças de paradigmas, não se encontram presentes no produto da atividade científica.

Outra impressão equivocada que pode resultar do modo como está estruturado o produto da atividade científica é resultante da presença da Matemática na estrutura do conhecimento físico. A Matemática está presente na atividade científica, tanto no seu processo, quanto no seu produto, seja na definição de um conceito, seja na articulação entre os elementos de uma teoria científica. Entretanto, a aparente simplicidade de estruturação do conhecimento físico para quem o domina pode transmitir a impressão que o seu papel reside apenas em quantificar as grandezas físicas identificadas em um determinado fenômeno, ou que os modelos matemáticos são meros mecanismos que permitem quantificar grandezas físicas. No capítulo 3 nos deteremos mais especificamente sobre o papel da Matemática na construção do conhecimento científico.

2.3 - A CIÊNCIA DA ESCOLA

Para situarmos nosso problema no interior do processo de ensino-aprendizagem, denominaremos "Ciência da Escola" o conhecimento físico traduzido em conteúdo físico escolar, observado através dos livros didáticos, dos planos de ensino e pela maneira como esse conteúdo é ensinado. Nossa atenção estará centrada nas características de uma escola pública de segundo grau, de ensino propedêutico.

A Ciência da escola apresenta distinções da Ciência dos cientistas. Em outras palavras, o conteúdo físico escolar é diferente do conhecimento físico que o originou, ou ainda, que esses saberes pertencem a quadros epistemológicos diferentes. Astolfi (1995) propõe a existência de uma "epistemologia escolar", *"que pode ser distinguida da epistemologia em vigor nos saberes de referência."* (Astolfi, 1995, 48). Quando se torna conteúdo escolar, um determinado elemento do conhecimento científico tem sua natureza modificada, pois geralmente as questões que inicialmente ele se propunha a resolver nem são colocadas no momento de sua apresentação. Também não é apresentada a rede relacional que este elemento mantém com outros conceitos. Assim, na Ciência da escola geralmente percebemos o entendimento de que a compreensão de uma teoria científica pode ser atingida através da apresentação fragmentada dos elementos dessa teoria, ou seja, que a apresentação de cada uma das partes de uma determinada teoria é condição suficiente para entendê-la no seu todo.

Neste item mostraremos que a interpretação ingênua do produto da atividade científica, que desconsidera a complexidade do conhecimento científico, interfere no processo de ensino-aprendizagem.

2.3.1 - A Transposição Didática

Como já mencionamos, o conhecimento físico é diferente do conteúdo físico escolar. Isso implica na existência de um processo de modificação que ocorre quando determinado elemento do conhecimento sai da esfera da Ciência dos cientistas e passa a ser um elemento de ensino da Ciência da escola.

As transformações sofridas por determinado elemento do conhecimento ao sair da esfera do "saber sábio" até se tornar elemento ou objeto do saber escolar, promovidas por mecanismos gerais de pressão, é denominada de "transposição didática"⁽¹²⁾(Astolfi, 1995).

O conceito de transposição didática foi introduzido na didática das matemáticas em 1982 por Chevallard e Joshua em um artigo que tinha por objetivo a discussão da noção matemática de distância, desde a sua origem até a sua inclusão como conteúdo escolar. Nessa discussão verificaram que a noção de distância se modificava, cada vez que era recuperado pelas esferas de pensamento intermediários. Essas esferas intermediárias, constituídas por grupos que exercem pressão para as modificações de um objeto de conhecimento é o que os autores chamam de "noosfera". Dentre outros, integram a noosfera os pesquisadores ou cientistas, os autores de livros didáticos, o poder político, o currículo, os especialistas e os professores.

A transposição didática permite a distinção de três estatutos ou patamares de saber : O "saber sábio", o "saber a ensinar" e o "saber ensinado". O "saber sábio" é constituído pelo produto da atividade científica. Os cientistas pertencem ao grupo que produz e determina o "saber sábio". Para que um conteúdo do "saber sábio" se torne um conteúdo do "saber a ensinar", ou seja, um conteúdo de ensino, ele passa por alterações nada simples, que são determinadas inicialmente por uma lógica conceitual originada no saber sábio. Uma das conclusões a que os autores mencionados chegaram é que a transposição didática faz com que um objeto do conhecimento da Ciência de referência (Ciência dos cientistas) passe por um processo de "despersonalização" e "descontextualização" até se tornar conteúdo escolar.

¹² Ver também dissertação de Mestrado de Maria Aparecida de Souza Perrelí : A Transposição Didática no Campo da Indústria Cultural : Um estudo dos condicionantes dos conteúdos dos livros didáticos de ciências. UFSC. Florianópolis, SC, 1996.

(Astolfi, 1995). O processo de descontextualização e despersonalização já se inicia na esfera do "saber sábio", ou seja, no produto da atividade científica. O primeiro deles é denominado de efeito de reformulação, que caracteriza o processo da despersonalização. Este efeito é devido ao fato de que os cientistas utilizam de uma lógica de exposição de resultados, nas publicações aos membros da comunidade a que pertencem, que difere das modalidades de procedimentos utilizados durante a construção do saber. Isto significa dizer, de acordo com Reichenbach (1961) que existe uma reconstrução racional que diferencia o modo como um cientista constrói determinado conhecimento (contexto da descoberta) e como ele o apresenta aos seus pares (contexto da justificação). No contexto da justificação, os artigos são organizados de forma a eleger os elementos fundamentais e daí obter as conseqüências, reforçando o máximo possível o encadeamento lógico das proposições.

Das publicações científicas aos manuais há ainda um processo específico de transposição que Astolfi (1995) denomina tal como Rumelhard de efeito de dogmatização, que caracteriza a descontextualização. Este efeito, considerado como tendo origem na tendência dos cientistas em valorizar a observação e a experiência no processo de obtenção do conhecimento, ocorre quando determinado conteúdo do "saber sábio" é reescrito para se tornar um "saber a ensinar" aos estudantes que seguem uma carreira científica. Ao ser reescrito, este saber passa por modificações, nas quais ocorre a supressão de partes do saber sábio e, muitas vezes a inversão da ordem cronológica de sua construção. Por exemplo, na exposição do efeito fotoelétrico pela maioria dos manuais franceses de Física, as leis experimentais antecedem a teoria. Acontece que a teoria do fóton de Einstein foi proposta em 1905 e as leis experimentais só foram propostas por Millikan em 1916.(Astolfi, 1995). Uma das conseqüências do processo de dogmatização é que, nos manuais, os conceitos são apresentados como "verdades da natureza" e não como formas de resolução de questões científicas específicas, uma vez que, pela forma como são apresentados, parece que eles foram obtidos a partir dos dados da experiência .

Dos manuais específicos à formação científica aos livros didáticos destinados ao ensino de 2º grau, esse processo de descontextualização se torna mais evidente. Além de uma simplificação mais acentuada de partes do saber sábio ocorre a inclusão de elementos que não pertencem ao saber de referência. Para esta fase de descontextualização na definição do saber a ensinar, além dos autores de livros didáticos, contribuem o poder político, o currículo, o

vestibular, os especialistas e os professores, orientados de certo modo por projetos político-pedagógicos de formação e por exigências didáticas. A interrelação entre projeto político-pedagógico e exigência didática é analisada e definida pelos vários grupos constituintes da noosfera, num processo relativamente longo e amplo em termos educacionais. Isto é, geralmente esse processo ocorre por ocasião ou como consequência da definição de um plano nacional, estadual ou municipal de educação. Dependendo do momento histórico haverá a maior influência de um dos grupos.

O fato de um "saber a ensinar" estar presente ou definido nos manuais e livros didáticos, na proposta curricular ou nos planos de ensino, não é garantia que ele chegue, necessariamente, até o aluno. Há portanto, um universo mais particular, o "saber ensinado". Embora tenhamos nos referenciado como um caso particular do saber a ensinar, o saber ensinado é também repleto de fatores determinantes, além dos já mencionados. Para ele concorrem mais acentuadamente os grupos da noosfera vinculados à comunidade escolar, como os proprietários de estabelecimentos de ensino, os supervisores e orientadores educacionais, a comunidade dos pais e os professores. São inúmeros os aspectos que concorrem para a definição do saber a ser ensinado, mas podemos identificar que ele é definido pela possibilidade de um controle social e legal da aprendizagem, atendendo, pelo menos, aos seguintes requisitos :

1º - o conteúdo é ensinável ou seja, pelo menos teoricamente, ele pode ser aprendido pelo aluno a que se destina. Para essa definição são levadas em consideração a faixa etária dos alunos, a especificidade do curso e da disciplina escolar dos quais fará parte.

2º - o conteúdo possibilita a elaboração de objetivos de ensino, de exercícios, avaliações ou trabalhos práticos.

Embora na maioria das vezes esses requisitos tenham sido levados em consideração na definição do saber a ensinar, especialmente pelos livros didáticos, destacamos a influência dos professores nessa esfera do saber. Isso porque a ênfase a determinadas unidades do conteúdo, a maneira como o conteúdo é abordado, os exercícios e a avaliação, passam necessariamente pela decisão do professor e esta depende, dentre outras coisas, da sua formação e de seu entendimento a respeito da Ciência de referência, dos conteúdos de ensino e do aluno. Apresentamos mais adiante uma discussão sobre a participação do professor no modo como o conteúdo é ensinado.

A transposição didática é uma transformação necessária para que um objeto do saber da Ciência dos cientistas passe a ser objeto do saber da Ciência dos alunos, por meio da Ciência da escola. Ignorar a existência e a necessidade da transposição didática é entender o aluno como um "cientista em miniatura", pois implica dentre outros fatores, no entendimento que o saber a ser ensinado na escola é apenas uma simplificação do saber sábio. Entretanto ela deve contemplar elementos epistemológicos, psicológicos e sociológicos que permitam a superação dos obstáculos epistemológicos, ao mesmo tempo que impeça os efeitos da dogmatização. Nesse sentido, a exemplo de algumas experiências que vem sendo realizadas na didática das Ciências, Astolfi (1995) indica a necessidade de levar em conta, dentre outros fatores, as práticas sociais de referência, os níveis de formulação de um conceito e as redes conceituais. As práticas sociais de referência podem ser a garantia da neutralização do efeito da dogmatização, uma vez que elas podem promover uma reelaboração do saber a ser ensinado no ensino de 2º grau, evitando a simples redução do saber universitário ao saber secundário. Para tanto, salienta a importância de se utilizar atividades sociais diversas, como atividades de pesquisa, de produção, domésticas e culturais, como ponto de partida para o exame de aspectos relativos ao saber de referência. Para a utilização de práticas sociais de referência é fundamental que seja respondida a seguinte questão : Que imagem de Ciência e atividade científica que se quer fornecer aos alunos ? É a resposta a esta pergunta que deverá nortear a prática do ensino. A atenção aos níveis de formulação de um conceito pode evitar a apresentação do mesmo de forma descontextualizada e fragmentada e ainda contemplar o que os alunos já sabem a respeito de determinado conceito. Já a consideração às redes conceituais pode propiciar a diminuição da reificação e simplificação do saber de referência e a definição isolada dos conceitos.

2.3.2 - O Saber a ensinar : A Ciência da Escola Secundária nos livros didáticos e planos de ensino

Percebe-se que de maneira idêntica à forma como é entendido o produto da atividade científica, a seqüência programática dos planos de ensino e dos conteúdos dos livros didáticos trazem a indicação dos conceitos, das definições e das "fórmulas" relativas ao conteúdo, de modo fragmentário, como se a apresentação isolada dos mesmos pudesse ser garantia da aprendizagem de uma teoria. Esses conteúdos na maioria das vezes se apresenta como uma simplificação dos conteúdos presentes nos livros didáticos de nível universitário.

A maioria dos livros didáticos utilizados atualmente e dos conteúdos programáticos dos planos de ensino (muitos deles sumários dos livros didáticos) apresentam o conteúdo físico em uma seqüência que foi entendida por alguém, algum dia, como sendo a melhor. Aparentemente essa colocação pode parecer inconseqüente, entretanto ela representa o que a maioria dos professores responderão, se perguntarmos a eles a razão da escolha dos conteúdos e a seqüência dos mesmos. Alegarão que tentam atender à proposta curricular da Secretaria Estadual de Educação, ao livro texto adotado e/ou aos conteúdos solicitados nos exames vestibulares. A discussão sobre planos de ensino e livros didáticos é longa e não é objetivo de nosso trabalho, mas temos a impressão que a eleição dessa seqüência certamente foi orientada pela aparente simplicidade que o conhecimento físico passa àquele que já o domina. Elegeu-se um dos conceitos como o primeiro ou o "mais fácil" e a partir dele foi se elaborando uma seqüência, partindo do conceito supostamente mais simples para o mais complexo. Essa seqüência, pouco questionada ou discutida, assume tacitamente que o conhecimento físico é uma acumulação de conceitos de modo linear e contínuo.

Essa imagem de simplicidade aparente do conhecimento físico, inserido no contexto curricular, reforça o entendimento de muitos professores de que é possível que os alunos compreendam uma teoria científica, através da definição isolada de seus conceitos. Consideramos que esse fato é responsável por alguns dos problemas detectados no processo de ensino-aprendizagem de Física, pois como vimos, o conhecimento estruturado em redes complexas é mais que a soma de suas partes.

Os processos de obtenção do conhecimento também não são considerados. Fatos históricos quando são apresentados, aparecem em leituras suplementares ao final dos capítulos. Quando é apresentada alguma concepção historicamente anterior a respeito de um fenômeno, ela é apresentada como um modo errado de entendimento sobre o mesmo, não levando-se em conta o contexto no qual essa concepção foi construída e validada.

Um exemplo disso é que, de maneira geral, quando um livro didático utilizado no 2º grau apresenta a mecânica clássica, a visão aristotélica de movimento, quando aparece, é apresentada como uma concepção ingênua e incompleta, que foi superada pelo paradigma newtoniano. Força, massa, aceleração, referencial inercial são conceitos apresentados de forma seqüenciada e harmônica, como se fossem conceitos simples, que se encerram em si mesmos. Não é levado em conta que os significados desses conceitos dependem do papel que eles desempenham no interior da teoria.

Outro exemplo que pode ilustrar a reformulação, a dogmatização e a transposição de um elemento do "saber sábio" para um conteúdo físico escolar pode ser encontrado na maioria dos livros didáticos destinados à 1ª série do 2º grau, quando tratam das leis de Newton. A 2ª lei foi formulada originalmente por Newton, definindo força como a derivada temporal da quantidade de movimento ($\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$), ou numa linguagem mais apropriada ao ensino de 2º grau, como a variação do vetor quantidade de movimento com relação à variação do tempo ($\vec{F} = \Delta\vec{p}/\Delta t$). Entretanto, na maioria dos livros ela é apresentada como sendo $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, que é a estruturação elaborada por Euler quase um século depois de Newton. (Carvalho, 1989)

2.3.3 - O Saber ensinado : A Ciência da Escola no modo como o conteúdo físico é ensinado

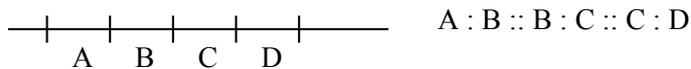
Na tese de Angotti (1991) encontramos uma análise da fragmentação em que se encontra o ensino de Ciências Naturais, que reforça nossa discussão realizada quando discutimos a transposição didática. Baseando-se nos trabalhos de David Bohm (1992), passa a demonstrar a fragmentação conceitual, suas origens epistemológicas e suas conseqüências no ensino de Ciências, com o objetivo de encaminhar a busca da totalidade através de conceitos unificadores.

Angotti define regularidade como um conceito unificador em Ciências Naturais que categoriza e agrupa "*as transformações mediante regras, semelhanças, ciclos abertos ou fechados, repetições e/ou conservações no espaço e no tempo*" (Angotti, 1991). Afirma que a Ciência trabalha de forma dinâmica o par regularidades e transformações. Considera que as regularidades relativamente às transformações são poucas, mas intensas o suficiente para auxiliarem a sistematização das transformações e que são fundamentais na educação científica. Isto porque contribuem para a compreensão da semelhança nas transformações.

As regularidades são percebidas pelas pessoas em vários eventos que as rodeiam, porém elas são compreendidas na esfera do senso comum, como o sol nascer todos os dias, a água aquecer e chegar ao ponto de fervura ao ser levada ao fogo, a sucessão das estações do ano. Entretanto, de maneira geral, a visão de regularidade apontada por Angotti não é discutida com os alunos no ensino de Física. Regularidades não são vistas na sua dualidade com transformações, mas como expressões de uma ordem seqüencial, como regularidades estáticas. A noção de ordem enquanto seqüência é necessária para a percepção das regularidades, mas reforçar ordenação e regularidade, sem levar em conta as contradições surgidas no processo de construção dessas formulações é limitar a própria capacidade do homem conhecer.

Como ordem e regularidades não são percebidas ou comunicadas em suas dimensões maiores, as leis ou princípios que regem os fenômenos são apresentados aos alunos como a própria realidade, como se a natureza coubesse dentro dessas formulações limitadas.

Para Bohm (1992) a noção de ordem é tão extensa que não pode ser definida. Para entendê-la e percebê-la é necessário "*dar atenção às diferenças similares e similaridades diferentes*"(Biederman, 1948 in Bohm, 1992, 160). Para ele, ordem não deve ser identificada com previsibilidade, considerando que esta é uma propriedade de um tipo especial de ordem, como a que pode ser encontrada, por exemplo, em uma reta. Numa reta, todos os pontos definem uma mesma direção, o que corresponderia a similaridade entre os elementos. A diferença entre eles é que ocupam posições diferentes no espaço. Para ele, este é um exemplo de uma ordem simples ou seqüencial. Este tipo de ordem consiste essencialmente numa série de relações entre elementos distintos, como os segmentos de linha mostrados na figura a seguir:



Na figura, o segmento A está para o segmento B, assim como o B está para o C. A diferença entre os segmentos é o deslocamento no espaço. Entretanto Bohm discute para além da ordem seqüencial e afirma existir diferentes graus de ordem, o que implica a idéia da existência de subordens e a existência de limites nelas. Ordenar é mais do que pensar sobre a ordem, é "*empenhar-se no próprio ato de ordenar a atenção*" (Bohm, 1992, 66).

Bohm (1992, 154) argumenta que, quando o homem tem uma determinada noção de ordem e aparece alguma anomalia que interfere nessa noção, ele utiliza sua notável capacidade de adaptação para que essa noção seja mantida. Isso significa dizer que ocorre uma tentativa de acomodação da anomalia à noção de ordem existente. O autor considera que esse comportamento pode ser identificado na construção do conhecimento científico e cita como exemplo a introdução dos epiciclos na descrição do movimento dos planetas para justificar que suas órbitas não eram os círculos perfeitos que a noção de ordem então vigente previa. Para Bohm, as pessoas preferem realizar adaptações a terem que mudar suas noções de ordem. Quando ocorre a necessidade de mudanças comparam a relevância das ordens. Se estabelecermos uma comparação entre o que Kuhn (1995) coloca sobre o conhecimento científico, podemos concluir que, o que Bohm considera período de ordem, onde se faz adaptações, corresponde ao que Kuhn denomina Ciência normal. Já a verificação da relevância de ordens comparadas pode ser associada aos

momentos de mudança de paradigmas ou revolução científica. O próprio Bohm coloca que mudanças revolucionárias no conhecimento científico envolveram a percepção de uma nova ordem (Bohm, 1992, 190).

Na procura da compreensão da ordem da natureza o cientista chega à formulação de leis, que tentam descrever as regularidades ou normas observadas nos eventos. Sejam essas leis, generalizações empíricas, declarações de tendência ou leis estatísticas, elas representam a idealização da regularidade percebida. A idealização pode ser percebida, pelo menos em dois momentos distintos. Durante a formulação da generalização ou quando a generalização passa a ser aplicada a situações exemplares. Esta generalização, porque limitada enquanto construção humana, não consegue expressar a realidade. Há então a necessidade do estabelecimento de condições de contorno e ou condições de limite de aplicabilidade da formulação idealizada, para melhor expressar a regularidade.

No processo de ensino, faz-se necessário deixar claro ao estudante que essa ordem é também decorrente de uma idealização criada pelo homem e imposta por seus próprios limites de compreender a totalidade do fenômeno. Que a compreensão da regularidade está vinculada a definições de situações de contorno, que tentam aproximar a construção idealizada da realidade, mas que a idealização não é a realidade. Como construção humana é passível de reformulações e não se constitui num corpo de conhecimento acabado.

Pietrocola (1993) chama a atenção para o fato de que raramente são considerados os processos de obtenção do conhecimento e os contextos históricos nos quais eles se desenvolveram. *"Assumindo o conhecimento da Física como a-histórico, nega-se qualquer tentativa de inseri-lo dentro de um contexto de construção, onde a estrutura atualmente aceita das teorias seja o fruto de um processo lento de maturação e adequação aos fenômenos naturais estudados (...) cria-se o mito da relação direta entre o conhecimento Físico e a realidade natural, onde a função humana é a de mera coadjuvante"* (Pietrocola, 1993, 8).

Pietrocola (1993) em sua discussão epistemológica sobre o conhecimento físico coloca que muitas vezes, no ensino tradicional da Física, não é levado em conta as dificuldades de construção das estruturas conceituais das teorias. Como consequência desse fato, afirma que *"Nesse contexto, muitas*

das questões formuladas pelos alunos parecerão, para os professores, fruto de uma lógica deformada. De outro, as exposições realizadas pelos professores parecerão para os alunos, sempre desprovidas de sentido, consideradas muitas vezes como fruto de um saber "divino e inacessível". (Pietrocola, 1993, 6)

De acordo com as afirmações dos autores mencionados, podemos dizer que o ensino tradicional de Física, geralmente o mais praticado, veicula o conhecimento científico como uma verdade final e dogmática. Esse conhecimento é entendido como sendo regido por leis imutáveis, que são adquiridas por uma atitude neutra diante da realidade que se revela ao homem, por meio da experiência e da generalização, via indução. Desse modo, o ensino tradicional da Física desconsidera o contexto e o processo de construção do conhecimento, apresentando-o de modo fragmentário.

No ensino tradicional da Física também percebe-se que pouca consideração é dada aos conhecimentos que o aluno possui. Localizado na esfera do senso comum, esse conhecimento é julgado como errado. Considerado dessa maneira, esse conhecimento do aluno deve ser apagado para que possa aprender o conhecimento correto.

Tanto a discussão de Pietrocola, quanto a discussão sobre o ensino de Ciências Naturais de Angotti, reforçam a natureza relativa e dinâmica do conhecimento científico. Por ser construção humana, é passível de erros e está em contínua transformação, não sendo, portanto, fonte de verdades absolutas.

Esta visão do conhecimento científico, situa-se em oposição a visão empirista, que veicula uma idéia absoluta e estática do conhecimento obtido pela Ciência. No entanto, a concepção de Ciência da escola, quer observada pelos livros didáticos e planos de ensino, quer observada pela prática docente, apresenta-se muito próxima da concepção que a sociedade em geral pensa da Ciência. Isto é, que ela se constitui num conjunto de conhecimentos acumulados continuamente e fonte de verdades acabadas. Podemos então dizer que a Ciência da escola é, de maneira geral, fortemente inspirada pelo empirismo.

Ao caracterizarmos o ensino tradicional de Física como empirista, não estamos distanciando a Física das demais disciplinas escolares. Becker (1993) ao analisar o trabalho docente em várias áreas do conhecimento para

investigar a epistemologia do professor, chega a conclusão que a epistemologia subjacente à prática docente é também empirista.

Outros trabalhos como os de Gil (1983), Hodson (1985), Millar e Driver (1987), Désautels et al (1993) também apontam que a visão deformada dos professores a respeito da natureza da atividade científica se refletem na prática docente. Essa visão deformada da Ciência, fortemente inspirada pelo empirismo é denominada por Bell e Pearson (1992) e Désautels et al (1993) de "epistemologia espontânea". Essa idéia espontânea dos docentes inclui a compreensão de que ensinar Ciências é uma atividade simples, para a qual basta ter conhecimento do conteúdo a ser ensinado e de alguns experimentos. A "epistemologia espontânea" dos professores é entendida como um dos obstáculos fundamentais às tentativas de renovação do ensino de Ciências (Gil-Peres, 1994).

Gil-Peres (1994) ainda chama a atenção para outras deformações e reducionismos que se encontram presentes no ensino de Ciências, mas que de um modo ou de outro se encontram vinculados à "epistemologia espontânea" dos professores.

2.4 - A CIÊNCIA DOS ALUNOS

O papel que o aluno desempenha no processo de ensino-aprendizagem modificou-se muito ao longo deste século. De mero receptor passivo de conhecimentos verdadeiros e acabados, passou a ser elemento ativo, possuidor de concepções próprias e construtor de seu conhecimento.

Neste item, utilizando a classificação dos movimentos de aprendizagem da didática das Ciências citados por Gil-Peres (1994), caracterizaremos o papel do aluno no contexto desses movimentos. Para tanto, definiremos "Ciência dos alunos", tal como Driver (1978) e Gilbert (1980), como a concepção sobre os fenômenos físicos e sobre a Ciência que o estudante constrói ao longo de sua existência.

Os procedimentos do ensino tradicional, tem suas origens na Idade Média, junto com as próprias origens dos sistemas de ensino (Mizukami, 1986). É apenas no século XX, após a segunda guerra mundial que o processo de ensino-aprendizagem começa a sofrer modificações, como consequência do processo de industrialização e do desenvolvimento tecnológico e científico, dentre outros fatores (Krasilchik, 1987). Estas modificações no processo de ensino-aprendizagem são inspiradas pelas idéias propostas pela teoria educacional emergente chamada "escola nova" que, desde a década de 30, visava o restabelecimento do sentido do humano, já considerado ameaçado pelo processo de industrialização (Ribeiro, 1986).

Um dos fatos marcantes que influenciou as mudanças no processo de ensino-aprendizagem de Física e, como consequência, no papel do aluno nesse processo, foi o lançamento do primeiro satélite artificial - o Sputnik I - em 1957 pela União Soviética. Este evento desencadeou uma série de ações, por parte dos Estados Unidos da América, no sentido de promover condições de competição no que se refere às pesquisas espaciais e à manutenção da sua liderança política, econômica e social. Dentre essas ações está a criação do PSSC - Physical Science Study Committe, do qual participaram renomados cientistas, que resultou na reestruturação curricular de Física na escola secundária americana e na produção de um pacote de ensino constituído de filmes, textos para o aluno (4 volumes), guias para os professores, um conjunto experimental e outros artifícios que a "tecnologia da educação" começava a

apregoar. A tecnologia educacional foi inspirada pela teoria educacional comportamentalista, na qual o objetivo do ensino de Ciências era vivenciar o método científico (Krasilchik, 1987).

O fenômeno PSSC teve uma repercussão tão grande que em sua esteira vieram projetos de ensino em outras áreas (Química, Biologia e Matemática), mas principalmente levou-o a ser absorvido por vários países. O livro PSSC foi traduzido em várias línguas e em 1962 foi iniciada a sua tradução para o Português. Aliás, seu nível era considerado tão bom que foi traduzido também na URSS.

No Brasil, embora Krasilchik (1987, 8) indique que o movimento para a melhoria do ensino de Ciências já tenha iniciado no começo da década de cinquenta no IBECC (Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura), é, a partir das críticas decorrentes do insucesso da utilização do PSSC, que surgiram três grupos de trabalho para desenvolver projetos de ensino de Física vinculados à realidade brasileira. Do trabalho desses grupos foram publicados os livros : FAI - Física Auto Instrutiva, PBEF - Projeto Brasileiro de Ensino de Física e o PEF - Projeto de Ensino de Física¹³. Tanto nesses livros, como noutros livros didáticos publicados posteriormente, pode se perceber as influências do PSSC, na forma de apresentação do conteúdo, no enfoque dado a determinados conteúdos, nos exercícios propostos etc.

Outra importante contribuição para as mudanças ocorridas no processo de ensino-aprendizagem foi decorrência das pesquisas piagetianas. Piaget foi um dos primeiros a se dedicar à psicogênese dos conceitos e, junto com seus colaboradores, desenvolveu estudos sobre noções numéricas, noções de conservação, noção de tempo, movimento e velocidade, força, conservação e atomismo de crianças e adolescentes (Nardi, 1991). Seu trabalho na área de epistemologia genética é reconhecido desde a década de 40. Entretanto Piaget não formulou uma teoria de aprendizagem, mas sim uma teoria da formação do conhecimento e dos mecanismos que são utilizados pelo indivíduo para que ele ocorra. Entretanto Astolfi (1995) coloca que a psicologia genética foi desde muito cedo estreitamente vinculada à didática, pelo fato de Hans Aebli, já em 1951 apresentar propostas de renovação dos métodos da didática a partir das

¹³ Uma discussão sobre as críticas ao PSSC e sobre os projetos nacionais que surgiram a partir dessas críticas é apresentada na Dissertação de Mestrado "Uma análise do Projeto de Ensino de Física - Mecânica, defendida em 1976 na USP por D. R. S. Bittencourt.

concepções operatórias desenvolvidas por Piaget. Isso implica em dizer, na concepção de Astolfi que, desde as suas origens, a didática, tal como hoje é definida, foi o campo de aplicação da psicologia genética.

Mais tarde, na década de 70, é que os resultados dos trabalhos de Piaget passaram a ser aplicados nas pesquisas em ensino de Ciências. Nos trabalhos de Furth e Wachs (1974), Chiapetta (1976), Garcia (1982), Teixeira (1985), Carvalho (1986), Laburu (1987), Coll (1987), Castorina (1988), dentre outros, encontramos a teoria piagetiana como referência destes estudos sobre problemas da construção do conhecimento científico (Nardi, 1991). Os educadores e psicopedagogos buscam na obra de Piaget "*uma caracterização de como o sujeito que aprende constrói seu próprio conhecimento...*" (Castorina et al, 1984, 15, tradução nossa). Segundo Nardi(1991), a utilização da teoria psicogenética fundamenta pesquisas para o estabelecimento de objetivos educacionais, para a seleção e ordenação dos conteúdos e para a proposição de métodos de ensino.

Na epistemologia genética de Piaget o conhecimento é considerado como uma construção contínua e a aprendizagem é entendida como uma atividade do sujeito epistêmico, universal, possuidor de estruturas construídas e em construção, na sua relação com o ambiente (ou com o objeto do conhecimento). A aprendizagem ocorre pela construção de estruturas que caracterizam o desenvolvimento operatório. (Nardi, 1991)

Uma outra contribuição para a compreensão sobre o processo de ensino-aprendizagem pode ser encontrada nos estudos de Gaston Bachelard. Ele propôs que o progresso do espírito científico se dá por rupturas com o senso comum, pois não se pode conhecer por meio da opinião e nada se pode construir sobre ela. Ele denomina de obstáculo epistemológico todo princípio ou idéia que se opõe ao pensamento científico. Para Bachelard a construção do conhecimento científico se dá pela superação de obstáculos epistemológicos na busca de resposta a um problema. Para isso julga necessário destruir conhecimentos anteriores imperfeitos. Bachelard analisa as questões dos obstáculos epistemológicos para o ensino, e conclui que muitos dos obstáculos epistemológicos se encontram presentes no pensamento infantil. Neste sentido, apresenta novo significado para o erro cometido pelo aluno. O erro, na visão de Bachelard, passa a ser fonte de detecção de obstáculos. Bachelard, já em 1938

tinha o entendimento de que o conhecimento científico ensinado se opõe às concepções dos alunos, construídas no cotidiano.(Bachelard, 1983)

Estas contribuições desencadearam, no fim da década de setenta, o entendimento de que o aluno é construtor de seu conhecimento e que, no processo de ensino-aprendizagem, deve ser levado em conta as concepções trazidas por ele. Esse novo entendimento se constituiu, na área de ensino de Ciências, no movimento das "concepções alternativas", aglutinando as pesquisas da área. Essa linha de pesquisa apresentou uma produção significativa nos estudos sobre esquemas conceituais alternativos que veremos mais adiante. Como já mencionamos, no âmbito do processo de ensino-aprendizagem é recente o entendimento de que os alunos pensam, isto é, que trazem para a sala de aula concepções a respeito das coisas, construídas no seu cotidiano. Entretanto, como Gil-Peres (1994) chama a atenção, não se pode desprezar as contribuições dadas por outros movimentos de aprendizagem que ocorreram nos últimos tempos, como a aprendizagem por descoberta e a aprendizagem por recepção significativa.

O processo de ensino implicitamente incorporado nas práticas tradicionais de ensino baseia-se na idéia da transmissão dos conteúdos para os alunos. É o modelo da transmissão-recepção de informação. Ancorado em tradições assumidas acriticamente, o professor desempenha o papel de transmissor dos conhecimentos elaborados (Gil-Pérez, 1994). O aluno, elemento receptor do processo, é considerado uma "tábula rasa", ou seja um indivíduo que não tem qualquer noção sobre os conhecimentos que vai receber. O aluno, considerado desse modo, é entendido como um elemento passivo do processo ensino-aprendizagem e, no nosso entendimento, considerado como desprovido de uma concepção de Ciência.

O papel do estudante como participante ativo do processo ensino-aprendizagem surgiu com o movimento da aprendizagem por descoberta. Tendo como premissa que o conhecimento é o resultado direto da experiência, ele desloca para os alunos o controle do processo da aprendizagem. Esse movimento incluiu um elemento dinamizador no ensino, na medida em que colocava o aluno como um agente participante do processo ensino-aprendizagem, contrapondo-se ao ensino tradicional, no qual era considerado um passivo receptor. Entretanto, também não podemos atribuir a existência de uma "Ciência dos alunos" no interior deste movimento, pois não era levado em

consideração as concepções dos estudantes, embora fossem considerados "pequenos cientistas". Apesar das críticas recebidas, por dar pouca atenção aos conteúdos e por insistir em uma atividade completamente autônoma do aluno e ainda tenha sido classificado como empirista, outra contribuição deste movimento foi ter iniciado um processo de questionamento e renovação, que originou investigações e propostas posteriores (Gil-Pérez, 1994).

Segundo Gil-Pérez (1994), a primeira proposta de ensino-aprendizagem a levar em conta a "Ciência dos alunos" foi o movimento da aprendizagem por recepção significativa, proposto por Ausubel (1978) e Novak (1979). Tendo como premissa que o ensino-aprendizagem é um processo de transmissão-recepção, foi o movimento que passou a dar atenção àquilo que os alunos já sabem. Além disso, este movimento contribuiu com a construção de instrumentos de análise como os mapas conceituais, como aqueles propostos por Moreira e Novak (1988) e o Vê epistemológico de Gowin, idealizado por Novak e Gowin (1989).

"A atenção àquilo que os alunos já sabem está, na origem da surpreendente surpresa que incluiu o reconhecimento de que conceitos básicos e reiteradamente ensinados não chegam a ser corretamente compreendidos e resultavam incapazes de eliminar as visões intuitivas com as quais os alunos chegavam à sala de aula. Surpreendente, em primeiro lugar, pela importância que passou a adquirir o estudo das "preconcepções" durante a década de 80 e em segundo lugar porque, como já havia assinalado muitos anos antes Bachelard (1938) : "É surpreendente que os professores de ciências não compreendam que os alunos não compreendam". Os professores deveriam saber levar em conta, na opinião de Bachelard, que a vida cotidiana acumula obstáculos contra os quais tem que se construir os conhecimentos científicos." (Gil-Pérez, 1994, 156, tradução nossa)

A partir da década de oitenta, tendo como base os estudos publicados por Driver (1973), Viennot (1979) e Saltiel (1980), as pesquisas¹⁴ em Didática das Ciências se encaminharam por uma linha de investigação prioritária : o estudo das preconcepções dos alunos, na nossa denominação, o estudo da Ciência dos alunos. Estas pesquisas, em sua maioria, se destinavam a investigar

¹⁴ Reinders Duit (1994) possui um arquivo eletrônico de referência bibliográfica, no qual das 3500 pesquisas, mais de 2500 publicações se referem a pesquisas sobre concepções alternativas dos estudantes.

as concepções que os alunos possuem sobre determinado conteúdo do conhecimento científico e foram orientadas pela concepção construtivista ou seja, pelo movimento de aprendizagem construtivista.

2.4.1 - As Pesquisas Sobre Esquemas Conceituais Alternativos

O pressuposto de que o aluno constrói representações a respeito dos eventos que ocorrem ao seu redor, orientou nas últimas décadas a maioria das pesquisas em ensino de Física. Viennot (1979), Saltiel (1980), Watts e Zylberstajn (1981), Di Sessa (1982), Driver (1983), dentre outros, partindo de uma orientação construtivista, procuraram investigar as interpretações dadas pelos estudantes para determinados eventos. Estes trabalhos indicaram que os estudantes possuem concepções acerca desses eventos que, muitas vezes diferem das concepções aceitas cientificamente. Tem se verificado, por meio dessas pesquisas, que os alunos possuem concepções sobre força, movimento, impulso, quantidade de movimento, calor, temperatura etc, diferentes das concepções cientificamente aceitas na atualidade e que essas concepções interferem no processo de ensino-aprendizagem desses conteúdos. Em alguns casos, as respostas dos estudantes se aproximam de explicações que já fizeram parte do conhecimento no passado.

Estas pesquisas tem identificado que os estudantes, geralmente, apresentam um padrão comum de respostas para classes comuns de problemas. Para problemas que envolvem movimentos relativos, deslocamento e velocidade, percebe-se que muitos estudantes apresentam problemas em utilizar um sistema de referência específico e preferem adotar um sistema de referência único, absoluto, geralmente o solo (Saltiel, 1980), (Aguirre, 1984). Quando se trata de explicar qualquer tipo de movimento de um corpo, geralmente os estudantes relacionam força e movimento, atribuindo, em regra geral, a existência de uma força na direção do movimento e considerando a existência de uma proporcionalidade direta entre força e velocidade (Viennot, 1979), (Watts e Zylberstajn, 1981), (Di Sessa, 1982), (Driver, 1983).

As concepções que o estudante possui são construídas ao longo de sua existência, muitas delas baseadas nas evidências dos sentidos, na sua relação com o meio ambiente. Isso pode justificar a incidência de respostas semelhantes, para investigações feitas em diferentes meios socio-culturais. Estas concepções dos alunos são designadas de várias maneiras : "esquemas", "teorias ingênuas", "ciência dos pequenos", "preconcepções", "concepções alternativas", "concepções espontâneas". Nós denominaremos essas concepções que os alunos possuem, tal como Driver (1988), de "esquemas conceituais alternativos".

Para Saltiel e Viennot (1985), os resultados dessas pesquisas apontam para o fato de que os conceitos científicos que os estudantes possuem, diferentes dos que se ensina na escola, são altamente resistentes à mudança. Mesmo estudantes de maior grau de escolaridade, e vinculados a atividades científicas, respondem a determinadas questões utilizando seus esquemas conceituais alternativos. Assim, muitos dos erros cometidos pelos alunos ao responderem determinados problemas, deixaram de ser encarados como erros e passaram a ser fontes de detecção de concepções envolvidas nos problemas.

Driver (1988) enfatiza a importância de conhecer os esquemas conceituais alternativos dos estudantes por entender que a aprendizagem de conceitos complexos ocorre pela organização e reestruturação de esquemas conceituais construídos a partir de noções intuitivas iniciais. Para ela, estas noções intuitivas possibilitam que o estudante construa explicações e faça previsões no seu dia-a-dia, durante um boa parte de sua vida. Por isso elas apresentam características que devem ser consideradas no processo de ensino-aprendizagem :

- 1º - Os esquemas conceituais alternativos são dotados de certa coerência interna e apresentam semelhanças com concepções historicamente superadas.
- 2º - Os esquemas conceituais alternativos são persistentes e não se modificam facilmente com o ensino tradicional e nem mesmo frente a experimentos que se conflitam com eles.
- 3º - Os esquemas conceituais dos alunos não são simples construções para um único fato, tendo um relativo poder explicativo.
- 4º - Idéias intuitivas são encontradas em um grande número de estudantes em diferentes meios e idades.
- 5º - Os estudantes utilizam de linguagem imprecisa e terminologia imprópria para expressar suas idéias.
- 6º - Não se pode atribuir todas as dificuldades dos estudantes a seus esquemas conceituais alternativos.

O fato de algumas explicações dos estudantes apresentarem semelhanças com concepções superadas historicamente, como a teoria do ímpetus e o entendimento do calor como um fluido, suscitou o levantamento de questões sobre a possibilidade de comparação entre o processo histórico da construção de conhecimento e o da construção de um estudante. A busca e

análise de semelhanças entre o modo como ocorreu a construção do conhecimento científico e os esquemas conceituais dos estudantes foi objetivo de alguns trabalhos, como os de Piaget e Garcia (1987), Saltiel e Viennot (1985), Saltiel (1990), Pietrocola (1993). Estas pesquisas tem apontado a impossibilidade de estabelecer paralelos completos entre esses universos. O contexto no qual essas explicações foram formuladas é fundamentalmente diferente do contexto no qual vive o estudante de hoje. Essas semelhanças são justificadas muito mais pelo fato dos estudantes basearem seus esquemas conceituais nas evidências dos sentidos, do que numa repetição, a nível individual, do processo da construção do conhecimento científico.

Driver afirma ainda que a importância dos resultados das investigações sobre os esquemas conceituais alternativos dos alunos reside no fato de servirem para nortear nossas ações no ensino e no planejamento do currículo. A tomada de consciência dos esquemas conceituais alternativos dos estudantes serviu como ponto de partida para o consenso construtivista no ensino de Ciências. Nesse sentido, enuncia proposições que servem para balizar uma prática construtivista no ensino de Ciências :

a) Dar importância às experiências anteriores dos alunos.

Os resultados da aprendizagem dependem das concepções e motivações de quem vai aprender, pois estas concepções e motivações influenciam as interpretações e explicações que os alunos fazem a respeito dos fenômenos, como também interferem no modo como observam, para onde dirigem sua atenção e como orientam os experimentos que realizam.

b) Dar sentido ao que será aprendido, estabelecendo relações.

Para garantir a conservação do conhecimento construído é necessário estruturá-lo e relacioná-lo de múltiplas formas a outros conhecimentos anteriores.

c) Quem aprende constrói ativamente significados.

A construção de significados implica na interpretação de novas experiências por meio de analogias a partir de conhecimentos anteriores e em processo ativo de formulação de hipóteses e realização de ensaios.

d) Os estudantes são responsáveis por sua própria aprendizagem. Mais que uma característica, esta é condição necessária para a aprendizagem. Os estudantes devem dirigir sua atenção para a tarefa da aprendizagem e fazer uso de seus próprios conhecimentos para construir o significado na situação de aprendizagem, e não buscarem simplesmente a resposta certa de um problema.

Portanto, tem-se hoje a compreensão que o aluno não tem sua mente como páginas em branco, nas quais a escola escreverá o saber. Os alunos pensam e constroem modelos explicativos sobre os diversos fenômenos físicos que se depara no seu dia-a-dia. Quando os alunos chegam à escola, trazem consigo suas próprias compreensões do mundo construídas ao longo de sua existência, quer através de suas interações com o meio ambiente e com as pessoas que convivem, quer através do ensino formal que porventura tiveram. Existe, portanto, uma Ciência dos alunos que deve ser considerada no processo de ensino-aprendizagem.

Da mesma maneira que o aluno constrói explicações a respeito dos eventos com os quais convive, devemos supor que ele também constrói alguma concepção ou interpretação sobre a Ciência ou sobre a atividade científica, uma vez que ele vive em contato com o produto e as aplicações da atividade científica. É esta discussão que faremos no item a seguir.

2.4.2 - A Concepção de Ciências Naturais dos Estudantes

As pesquisas sobre os esquemas conceituais alternativos, citadas até aqui, foram encaminhadas no sentido de investigar as compreensões dos estudantes sobre conceitos físicos ou fenômenos naturais específicos. Alguns trabalhos como os de Gilbert et al (1982), Osborne e Whittrock (1983), Osborne et al (1983) colocam em discussão as concepções dos alunos sobre a Ciência, enquanto campo de conhecimento. A questão a ser respondida é : Qual a idéia que o aluno tem da Ciência ? Qual a concepção predominante de Ciência que tem o estudante que ingressa no ensino de 2º grau ?

Osborne e Whittrock (1983) atribuem a existência de uma concepção de Ciência por parte das crianças, antes mesmo delas entrarem na escola, que é baseada em suas visões de mundo. As construções dos alunos sobre Ciência sofrem a interferência de vários fatores, tais como : crenças pessoais, experiências anteriores, métodos de ensino utilizados pelos professores, sexo dos alunos, desempenho escolar anterior (Ledbetter, 1993). Osborne et al (1983) falam que, geralmente, os professores ignoram as construções dos estudantes e na maioria das vezes não se dão conta que essas visões interferem no processo de ensino-aprendizagem. Estes autores consideram de fundamental importância o conhecimento da concepção de Ciência dos alunos, como ponto de partida para a definição de estratégias de ensino-aprendizagem.

Partindo do princípio que as definições de ciência dos estudantes revelam muito a respeito de suas percepções sobre Ciência e que o conhecimento destas percepções podem possibilitar estudos que auxiliem na identificação de esquemas conceituais alternativos, Ledbetter (1993) realizou, em 1987, pesquisa com 2160 alunos que freqüentavam do 7º ao 12º grau de 16 escolas do Texas, na faixa etária entre 11 e 19 anos. Para sua investigação solicitou aos estudantes que descrevessem o seu entendimento sobre Ciência, numa questão do tipo aberta e discursiva. Solicitou ainda dados sobre sexo, idade, origem étnica e tipo de escola (primária, secundária).

A partir das respostas apresentadas pelos estudantes, Ledbetter definiu 6 categorias, nas quais enquadrou as respostas obtidas :

Categoria	Tipos de respostas	Resposta típica
------------------	---------------------------	------------------------

enquadradas

a) <i>Descoberta</i>	Ciência como forma de busca ou descoberta de respostas.	Ciência é descoberta de coisas novas.
b) <i>Atividade centrada na escola</i>	Ciência como disciplina escolar que o professor ensina.	Ciência é uma disciplina que eu tenho.
c) <i>Fenômenos e seus efeitos</i>	Ciência como uma entidade que explica fenômenos, processos vivos, funcionamento das coisas.	Ciência é o mundo e tudo que nele existe.
d) <i>Atividades de reflexão ou de raciocínio</i>	Ciência como uma forma de análise para entender o mundo, de encontrar respostas a problemas.	Ciência é investigação para resolver problemas.
e) <i>Método científico</i>	Ciência como uso do método científico, como observação.	Ciência é o uso de um processo para coleta e análise de dados.
f) "Outros".	Visão de mundo, História, tecnologia.	

Três categorias despontam no total das respostas : *descoberta* (25,2%), *atividade centrada na escola* (23,3%) e *fenômenos e seus efeitos* (20,7%). Ledbetter esperava que as respostas dos estudantes mais maduros se aproximassem mais das respostas dadas pelos cientistas e especialistas em Educação e Ciência, mas isso não ocorreu. 30% de alunos de 12 anos e de alunos de 18 anos descreviam Ciência como *descoberta*. Para todas as idades, *atividade centrada na escola* aparece em torno de 20% . Muitos dos alunos que assim responderam acham Ciência uma obrigação pela qual tem que passar para se formar.

Um dado interessante apresentado por Ledbetter, foi conseguido pela comparação entre as definições fornecidas pelos estudantes e as definições apresentadas por cientistas e especialistas em Educação e Ciência. Segundo Ledbetter (1993, 617) os cientistas descrevem a Ciência como um corpo dinâmico de dados desvendados através de questões formuladas e metodicamente testadas para atingir o entendimento¹⁵. Ela enquadró esta afirmação dos cientistas nas categorias *descoberta*, *atividade de reflexão e método científico*. Comparando com as respostas dos estudantes, verificou que mais da metade das definições dos estudantes foram localizadas nessas três categorias. Devemos observar que a aproximação entre as respostas dadas pelos estudantes e cientistas se deve muito mais ao enquadramento da concepção dos cientistas na categoria *descoberta*.

Já os especialistas em Educação e Ciência¹⁶, segundo Ledbetter (1993, 617) apresentam definições de Ciência que se enquadram adequadamente nas categorias *atividade de reflexão e método científico*. Eles pensam Ciência como coleta e análise de dados num esforço para entender a natureza. Para estes educadores, "*Ciência é mais que uma simples entidade, ela é uma estrutura complexa, quanto ao seu conteúdo e ao seu processo*" (Ledbetter, 1993, 613). Do total das definições dadas pelos estudantes 26,9 % estão nestas duas categorias.

Segundo a forma como Ledbetter enquadró as respostas dos cientistas e especialistas em Educação e Ciência, o que diferencia as respostas dos cientistas das respostas dos especialistas em Educação e Ciência é a categoria *descoberta*. Se considerarmos que a categoria *descoberta* indica um tipo de resposta que pode ser relacionada a uma concepção ingênua e/ou empirista de Ciência, podemos interpretar que a concepção dos cientistas é, de certa maneira, ingênua e/ou empirista. Esta é uma interpretação também anunciada por Astolfi (1995). Como já mencionamos, ele considera que existe uma tendência dos cientistas em valorizar a observação e a experiência no processo de obtenção do conhecimento. Já a concepção dos especialistas em Educação e Ciência pode ser considerada em sintonia com a concepção construtivista da atividade científica.

¹⁵ Ledbetter fornece as seguintes referências para esta afirmação : Einstein & Infeld(1938), Wallerstein(1988), François Hess in Trowbridge & Bybee(1990).

¹⁶ Referências de Ledbetter : Blough & Swartz(1984), Collette & Chiapetta(1984), Carin & Sund(1985).

Nas definições de cientistas e especialistas em Educação e Ciência não aparecem as categorias *atividade centrada na escola e fenômenos e seus efeitos*. Entretanto, 950 (44%) dos alunos pesquisados por Ledbetter deram respostas que se adequam a essas categorias. Uma conclusão que Ledbetter apresenta para justificar as respostas dos alunos localizadas na categoria *atividade centrada na escola* é que esses estudantes não pensam em Ciência como algo presente na sua vida diária. Para as respostas localizadas na categoria *fenômenos e seus efeitos* acreditamos que elas são influenciadas pela maneira como professores e livros didáticos apresentam a Ciência, como por exemplo, no caso da apresentação de um livro de Física para a 1ª série de 2º grau : "*O cosmo existe porque está em equilíbrio. É um equilíbrio de forças. E o homem sempre se questionou sobre os mecanismos que regem esse equilíbrio. A Física procura desvendar os segredos desses mecanismos. A isso nos propomos nesta obra, pois despertar o homem para os fenômenos que o cercam foi, é e será uma eterna busca.*" (Del Giudice, SD)

Em 1994, realizamos semelhante investigação com alunos das primeiras séries do segundo grau do Colégio de Aplicação e enquadrámos as respostas dos alunos de acordo com as categorias propostas por Ledbetter (1993). As respostas de nossos alunos (Anexo I) não diferem muito das respostas obtidas por Ledbetter. Tanto na pesquisa de Ledbetter, quanto na nossa podemos perceber que os maiores índices de respostas se localizam nas categorias *descoberta, atividade centrada na escola e fenômenos e seus efeitos*.

Tanto os resultados da pesquisa realizada por Ledbetter, quanto os resultados por nós obtidos, indicam uma tendência do estudante em considerar a Ciência como algo que está no mundo, na natureza e que o homem a descobre. Esta tendência nos faz interpretar que a concepção de Ciência é fortemente inspirada pelo empirismo. As definições dos alunos revelam ainda um persistência das concepções ao longo de todo o processo educacional, pois mesmo após anos de escolaridade um número significativo de estudantes permanece entendendo Ciência como uma disciplina da escola.

Existe uma Ciência dos alunos, que de maneira geral é diferente da Ciência dos cientistas. Se se pretende que o aluno passe a entender o caráter construtivo da Ciência é imperativo que suas concepções de Ciência sejam consideradas no processo de ensino, de modo que eles possam vivenciar práticas que encaminhem para uma modificação de suas concepções.

Conhecemos o mundo através de nossas experiências e usamos essas experiências para construir explicações. Se uma estrutura ingênua ou distorcida não é percebida pode provocar dificuldades na aprendizagem de conceitos científicos, ou na compreensão da Ciência como uma possibilidade de escolha profissional. Ignorar essas percepções é reforçar para o aluno a existência de dois universos distintos : o mundo da Ciência dos Cientistas, que ele tem que utilizar para responder às exigências da escola e o seu universo pessoal, no qual ele permanece utilizando de suas construções. É tarefa da educação científica promover a aproximação entre esses dois universos.

CAP. 3 - SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS NA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NA CIÊNCIA E NA SALA DE AULA

3.1 - INTRODUÇÃO

No capítulo anterior vimos que o conhecimento científico (Ciência dos cientistas), o conteúdo escolar (Ciência da Escola) e os esquemas conceituais alternativos dos estudantes (Ciência dos alunos) apresentam quadros epistemológicos diferentes. O conhecimento científico, constituído por uma estrutura complexa, é construído a partir da adoção dogmática a paradigmas e caracterizado por descontinuidades provocadas por mudanças de paradigmas. Até se tornar conteúdo escolar, o conhecimento científico passa por transformações, nas quais às vezes ocorre a omissão de elementos do conhecimento científico, às vezes ocorre acréscimo de elementos. Como consequência destas transformações, geralmente ele se apresenta como um conhecimento revestido por uma aparente simplicidade e obtido por acumulação linear e contínua de informações. Por sua vez, a Ciência dos alunos é constituída por esquemas conceituais próprios, freqüentemente diferentes dos esquemas conceituais aceitos cientificamente e, como vimos, resistentes às mudanças.

Embora pertencentes a estatutos epistemológicos diferentes, entendemos ser possível alguma aproximação entre a Ciência dos alunos e a Ciência dos Cientistas. Para podermos compreender alguns fatores que determinam estas diferenças, adotaremos alguns pressupostos quanto à estrutura cognitiva dos indivíduos e utilizaremos da análise do conhecimento científico em sua dimensão individual e coletiva, empreendida por Pietrocola (1993).

Em nossa discussão levaremos em consideração que todos constroem representações do saber, que são utilizadas para interpretar a experiência. Por isso, no processo de aprendizagem consideraremos o papel essencialmente ativo do estudante e que os resultados de sua aprendizagem não dependem apenas das situações de aprendizagem e das experiências que são propostas aos alunos, mas também são motivados pelos conhecimentos prévios. (Driver, 1988)

O aluno para o qual dirigiremos nossa atenção é, segundo a definição de Piaget, o sujeito epistêmico, universal, cognoscente, possuidor de estruturas cognitivas construídas e em construção, que se encontra na faixa etária dos 14-

16 anos e, portanto, já na etapa final do desenvolvimento de suas principais estruturas cognitivas. Dessa forma admitimos que o estudante se encontra apto a utilizar, com relativa desenvoltura, suas estruturas lógico-dedutivas.

Partindo da premissa de que existem semelhanças entre cientista e aluno quanto à construção de modelos, discutiremos alguns aspectos do conhecimento que nos permitem relacionar, de forma mais estreita, a Ciência dos cientistas e a Ciência dos alunos.

3.2 - A CONSTRUÇÃO DE MODELOS

Na análise da estrutura do conhecimento físico aparece de forma clara a presença de regras matemáticas definidas que servem de articulação entre leis, princípios, conceitos, convenções etc, os quais constituem as teorias. A Matemática é elemento essencial da estrutura desse conhecimento. Robilotta lembra que *"Os conhecimentos da física englobam fenômenos e teorias, sendo estas últimas baseadas em conceitos e leis, e estruturadas por meio da matemática. As leis fazem o papel de "postulados" da estrutura matemática da teoria, "postulados" esses formulados levando-se em conta a experimentação. As leis físicas fogem, portanto, ao domínio da lógica pura, uma vez que não são justificáveis somente em termos matemáticos. Por isso as teorias também contêm elementos não lógicos, já que elas são baseadas nas leis. "* (Robilotta, 1988, 13).

Para Bunge (1974, 13) a conquista conceitual da realidade começa com as idealizações. Esta conquista ocorre quando, pela classificação de traços comuns, estabelece-se o "objeto-modelo" ou "modelo conceitual" de uma coisa ou de um fato e se atribui a ele propriedades possíveis de serem tratadas por teorias. A construção de uma teoria do objeto-modelo implica na construção, segundo Bunge, de um modelo teórico.

Bunge define modelo teórico como *"um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo, que é, por sua vez, uma representação conceitual esquemática de uma coisa ou de uma situação real ou suposta como tal"* (Bunge, 1974, 16). Ele enfatiza também que todo modelo teórico *"é parcial e aproximativo"* (Bunge, 1974, 30), uma vez que a observação, a intuição e a razão, que são componentes do trabalho científico, não podem, por si só, permitir o conhecimento do real. Entretanto assinala que o método da modelagem e da sua comprovação mostrou-se bem sucedido na apreensão da realidade.

Kneller (1980), refere-se a modelos como a essência das teorias e classifica-os em três categorias: modelo representacional, modelo imaginário e modelo teórico.

Modelo representacional, também conhecido como maquete, é uma representação física tridimensional, como um modelo do sistema solar

apresentado em museus, como o de um avião ou um modelo de bolas da estrutura de uma molécula.

Modelo imaginário é um conjunto de pressupostos apresentados como uma descrição de como um objeto ou sistema seria, se fossem satisfeitas determinadas condições ou pressupostos. Um modelo imaginário pode servir para propor que a estrutura imaginária é semelhante à estrutura real, para melhorar a compreensão dos pressupostos estabelecidos, ou para mostrar que certos pressupostos, aparentemente contraditórios, podem ser compatíveis. Um exemplo de modelo imaginário é o modelo mecânico do campo eletromagnético de Maxwell. Ele descreveu esse campo como se fosse regido pelas leis da mecânica newtoniana.

Modelo teórico é tido como o tipo mais importante de modelo utilizado pela Ciência. É definido como um conjunto de pressupostos que tratam de explicitar um objeto ou um sistema. (Modelo de bola de bilhar, modelo corpuscular da luz, modelo helicoidal da molécula do DNA). Um modelo teórico atribui ao objeto ou sistema uma estrutura ou mecanismo interno. Esta estrutura ou mecanismo é responsável por certas propriedades do objeto ou sistema descrito pelo modelo. No caso dos modelos físicos, além dessas características, ele deve ser expresso na forma de equações matemáticas.

Dessa forma, temos que a Matemática desempenha um papel de elevada importância na constituição das teorias físicas, na medida em que é um elemento estruturador dos modelos e teorias. Devido ao modo como são construídas suas estruturas, a Matemática é utilizada para representar modelos e teorias. A escolha de determinada função matemática como modelo ocorre quando as implicações de determinado enunciado tem a mesma forma das proposições contidas na estrutura matemática, ou quando tem a mesma forma lógica dessas proposições.

Segundo Kneller (1980, 141) a Matemática é utilizada na construção de modelos e teorias de três maneiras. Uma delas é construir um formalismo matemático e posteriormente interpretá-lo fisicamente. Um exemplo deste modo de utilização da Matemática foi a teoria da mecânica ondulatória proposta por Schrödinger.

Uma segunda maneira, considerada a mais freqüente, é buscar entre as funções matemáticas já conhecidas uma que atenda a uma idéia ou hipótese

física. Isto significa dizer que o cientista tem uma previsão sobre o comportamento de determinado fenômeno e busca uma forma de representar seu modelo interpretativo matematicamente. Caso não seja encontrada uma função adequada, o cientista propõe a construção de uma nova função.

Ainda, a Matemática pode ser utilizada para que o cientista deduza as conseqüências dos pressupostos de sua teoria. Maxwell deduziu, a partir da idéia de campo, equações que indicavam a existência de ondas eletromagnéticas, que deveriam se propagar com a velocidade da luz. Posteriormente, essas ondas foram detectadas e a luz passou a ser um caso particular delas.

Como diz Kneller: *"Uma estrutura matemática consiste em um conjunto de axiomas e um conjunto de teoremas que são logicamente deduzidos daqueles. Axiomas e teoremas apresentam as relações gerais existentes entre entidades puramente abstratas. O cientista interpreta essa estrutura substituindo os símbolos ou variáveis em certos axiomas ou teoremas por termos de sua própria lavra pertinentes ao seu objeto de estudo. Assim interpretadas, as proposições matemáticas abstratas convertem-se em formulações verbais acerca do mundo."* (Kneller, 1980, 141)

De maneira geral, podemos dizer que um modelo é resultado de uma reflexão sobre uma parte da realidade e da tentativa de entender e ou agir sobre ela (Bassanezi, 1994). Como mencionamos anteriormente, no caso da Física, se for formulada uma teoria para a compreensão da realidade pode haver um modelo teórico vinculado a esta teoria. O modelo teórico é construído a partir do estabelecimento de um objeto modelo, que tem as mesmas características identificadas na realidade, características estas que são obtidas por formulação de hipóteses ou por experimentação. Um objeto modelo pode ser representado por um modelo matemático.

Segundo Bassanezi (1994), um modelo matemático designa *"um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam de alguma forma o objeto estudado"* (Bassanezi, 1994, 57), que expressa e interpreta uma ou mais hipóteses de maneira quantitativa. Para ele, a importância de um modelo matemático reside no fato de possibilitar a expressão de nossas idéias de maneira clara, em uma linguagem concisa e universal.

Sierpinska (1992) utiliza a expressão "modelo matemático" como a função matemática que representa a relação entre grandezas físicas. Nesse sentido podemos dizer que o modelo matemático faz parte dos modelos teóricos e estes, por sua vez, são constituintes de uma teoria.

O processo de obtenção de modelos matemáticos é denominado Modelagem Matemática. Bassanezi (1994) define modelagem matemática como um processo dinâmico que consiste "*na arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los, interpretando suas soluções na linguagem do mundo real.*" (Bassanezi, 1994, 61).

A modelagem matemática, além de poder ser utilizada como instrumento de pesquisa, pode também ser utilizada como estratégia de ensino-aprendizagem. A modelagem matemática como estratégia de ensino vem sendo utilizada em experiências didáticas¹⁷, tanto na Didática da Matemática, quanto na Didática das Ciências. Das experiências realizadas em Matemática encontramos argumentos favoráveis quanto a sua utilização, notadamente por permitir a sistematização do conteúdo matemático, como resultado da interação do aluno com seu ambiente natural, onde o importante "*não é chegar a um modelo bem sucedido, mas caminhar seguindo etapas onde o conteúdo matemático vai sendo sistematizado e aplicado*" (Bassanezi, 1994). Também são apontados alguns obstáculos quanto a sua utilização, vinculados ao fato de se constituir em um processo demorado, e que requer professores habilitados a desenvolver a modelagem.

Na Didática das Ciências, os modelos e a modelização vem sendo abordados nos últimos anos. Segundo Astolfi (1995, 103), os modelos que constroem a Ciência se constituem de "*representações calculáveis de que a didática permite a apropriação*". Martinand (in Astolfi, 1995, 103), considera que os modelos permitem a apreensão da realidade em virtude de facilitar a representação do "escondido", pois "*substituindo as primeiras representações por variáveis, parâmetros e relações entre variáveis, fazem com que se passe a representações mais relacionais e hipotéticas*". Os modelos também auxiliam a pensar o "complexo", porque "*identificando e manipulando bons sistemas, permitem descrever as variáveis de estado e de interação, as relações internas entre essas variáveis, os valores de imposições exteriores.*"

¹⁷Burak, (1987), Gazzetta (1988), Monteiro (1990), Franchi (1993).

Para Astolfi (1995) a modelização apresenta sua utilidade na sala de aula quando o estabelecimento de uma relação causal não é suficiente para a compreensão de uma determinada explicação. O autor alega ainda que, de maneira geral, os modelos científicos são apresentados para os alunos "como a realidade diretamente interpretada muito mais do que representações construtivas, conscientemente reduzidas e calculáveis" (Astolfi, 1995, 105). Nesse sentido, considera que modelização na didáticas das Ciências pode possibilitar que o aluno perceba e conceba o caráter arbitrário do modelo. O aluno como modelizador pode distinguir dois aspectos complementares do modelo, que necessariamente se encontram presentes no processo de modelização : o modelo teórico e o modelo empírico. O modelo teórico está relacionado ao caráter hipotético. O modelo empírico é resultado de um tratamento de dados, tendo por base o modelo teórico. Para Astolfi (1995) o trabalho didático sobre a modelização pode ser complementar ao trabalho experimental.

Até aqui discutimos como os cientistas constroem os modelos teóricos, por meio dos quais tentam melhor compreender a natureza e indicamos a possibilidade da utilização da modelização como estratégia de ensino. No próximo item procuraremos estabelecer relações entre a construção de modelos pelos cientistas e pelos estudantes.

3.3 - A DIMENSÃO INDIVIDUAL DO CONHECIMENTO E A MATEMÁTICA COMO CONDICIONANTES DA CONSTRUÇÃO DE MODELOS

No capítulo anterior vimos que o estudante constrói esquemas conceituais, por meio dos quais tenta compreender o que ocorre a sua volta. Vimos também que esses esquemas conceituais alternativos são dotados de certa coerência interna e tem um relativo poder explicativo. Em certos casos, os esquemas apresentam semelhanças com concepções historicamente superadas, ou seja, com modelos anteriormente aceitos por praticantes de uma determinada Ciência.

Podemos interpretar que os esquemas conceituais alternativos podem ser considerados modelos e afirmar, então, que um aspecto semelhante entre cientista e aluno é que ambos constroem modelos explicativos sobre o mundo real, de modo a torná-lo inteligível. Como coloca Papert (1986, 13) *"o que um indivíduo pode aprender e como ele aprende isso depende dos modelos que tem disponíveis. Isso impõe recursivamente, a questão de como ele aprendeu esses modelos. Assim, as "leis de aprendizagem" devem estar em como as estruturas intelectuais se desenvolvem a partir de outras e em como, nesse processo, adquirem as formas lógicas e emocional."*

Cabe então uma pergunta que procuraremos responder ao longo de nossa discussão : que diferenças e semelhanças podemos identificar entre os modelos construídos por cientistas e estudantes ?

A partir dos pressupostos anunciados no início deste capítulo podemos estabelecer, tal como Pietrocola (1993) que o estudante pode ser comparado a um indivíduo comum, que constrói seus esquemas conceituais a partir de suas interações com o mundo físico, mas que são influenciados pelo meio sócio-cultural no qual está inserido. A construção dos esquemas conceituais alternativos do estudante, tal como do indivíduo comum é, marcadamente, definida por critérios individuais, tais como a afetividade, as preferências, as aptidões. *"Essas representações não tem a necessidade de ser constantemente legitimadas perante um grupo no qual prevalecem certas "regras", como no caso da atividade científica. Elas na verdade, são quase que unicamente guiadas por considerações de ordem "interna" que procuram*

adaptar da melhor forma possível as estruturas cognitivas ao mundo real, de forma a torná-lo pessoalmente inteligível. (Pietrocola, 1993, 26).

Outro aspecto que consideramos importante, apontado por Pietrocola, a respeito dos esquemas conceituais do estudante é quanto aos fatores que levam à reformulação desses esquemas. O estudante ou o indivíduo comum reformula seus esquemas conceituais, a partir de critérios próprios, quando seus esquemas conceituais perdem a capacidade de explicar o mundo real. Esse fato pode ser desencadeado pelo desenvolvimento de estruturas operatórias ou por novos elementos obtidos no contexto exterior.

Então, para que os esquemas conceituais alternativos dos estudantes adquiram status de esquemas conceituais científicos se faz necessário reformulações profundas nos primeiros. Numa aproximação com o que ocorre com o conhecimento científico poderíamos dizer que, na visão Kuhniana haveria uma mudança de paradigma, enquanto que na visão de Bachelard haveria uma ruptura. Na didática das Ciências esse tipo de reformulação é conhecida como mudança conceitual (Posner, 1982) e tem sido fonte de proficuas pesquisas, tais como as de Posner (1982, 1983), Osborne (1982), Nussbaum (1983).

Embora o cientista possua, em certa aproximação, estruturas cognitivas semelhantes ao indivíduo comum ou estudante e fique sujeito também às influências do meio sócio-cultural, ele participa de uma atividade eminentemente coletiva, na qual o produto final não é atribuído a apenas um indivíduo. (Pietrocola, 1993). Por isso, a forma de construção e de validação do conhecimento científico é orientada por determinados procedimentos coletivamente definidos. Particularmente na Física, dentre esses procedimentos se incluem os procedimentos experimentais e o uso de uma linguagem própria, formal e compartilhada pela comunidade científica, que se estrutura por meio de modelos matemáticos.

Portanto, enquanto o conhecimento científico (como também o conteúdo escolar) tem um caráter eminentemente coletivo - uma vez que são discutidos e avaliados por determinadas comunidades até adquirirem validade - os esquemas conceituais alternativos do aluno tem um caráter acentuadamente individual, na medida em que, via de regra, não existe a necessidade de que eles sejam aceitos por uma comunidade. Ao construir uma explicação sobre

determinado fenômeno, a princípio, basta uma adequação desta explicação com os seus esquemas anteriores. (Giordan, 1989) (Pietrocola, 1993)

Além do caráter individual e coletivo já mencionado, outro aspecto que pode diferenciar os modelos construídos por um e outro é o nível de sofisticação dos mesmos. Por meio de modelos o cientista procura dar conta de explicar o maior número de eventos que se relacionam entre si. Já o indivíduo comum ou o estudante muitas vezes fica satisfeito quando seu modelo explica o evento que é foco de sua atenção em determinado momento (Pietrocola, 1993). Além disso, embora possuidores de estruturas cognitivas aproximadamente semelhantes, o indivíduo comum ou o estudante geralmente não domina ou não dispõe de um ferramental matemático que lhe permita o estabelecimento de relações mais amplas sobre um determinado fenômeno. Nesse sentido, alguns trabalhos vem apontando as dificuldades de compreensão de conceitos físicos relacionados com a falta de domínio do ferramental matemático. Dentre eles, Trowbridge e McDermott (1981) e White (1983) tem apontado a existência de dificuldades de aprendizagem de conceitos científicos devido a dificuldades no uso de gráficos e notação vetorial; Chin (1992) destaca a dificuldade que os alunos apresentam em transitar nas diferentes formas de representação da função proporção direta; Sierpiska (1992) discute sobre os obstáculos epistemológicos e as condições de entendimento da noção de função.

Ainda tendo em vista a dimensão coletiva e individual da construção do conhecimento, passaremos a discutir três aspectos que concorrem para a construção do conhecimento científico. Temos consciência que eles não são suficientes para dar conta de toda a complexidade da construção do conhecimento, porém acreditamos que eles contenham elementos úteis na análise e interpretação no nosso trabalho. Entendemos que a construção do conhecimento, em sua forma mais ampla, se localiza no domínio social. Nesse âmbito, os aspectos eleitos, assim como muitos outros não discutidos em nosso trabalho, se encontram bastante imbricados. Denominaremos estes aspectos de "experiências pessoais", "conhecimentos de Matemática" e "construtos da natureza".

A esses aspectos foram atribuídos elementos que buscam dar conta de formar uma base que possibilite analisar a construção do conhecimento físico. Em particular, no nosso caso, esta escolha se deve ao fato deles

permitirem a caracterização da dimensão coletiva e individual do conhecimento, bem como a discussão dos esquemas conceituais alternativos e dos modelos matemáticos. Além do mais, eles nos auxiliarão na justificação de que, no processo de ensino-aprendizagem, o trabalho baseado no anúncio de pressupostos estabelecidos coletivamente é mais profícuo que o trabalho individual.

Os modelos construídos, seja por cientistas, seja por estudantes, têm por objetivo a busca de uma melhor compreensão da natureza. Assim, os "construtos da natureza", são objetos de conhecimento e representam a fonte potencial e inesgotável de fatos sobre os quais vai se construir alguma explicação e estabelecer algum tipo de relação. Os construtos da natureza nem sempre são vistos do mesmo modo pelos seres humanos. Se tomarmos como exemplo um arco-íris, um físico o verá como o resultado da decomposição da luz branca. Um poeta verá o arco-íris como fonte de inspiração para um poema e talvez até descreverá cores diferentes. Um artista plástico poderá vê-lo como fonte de inspiração para um quadro. Também a concepção de uma árvore, poderá ser diferente, para seres humanos de formações diferentes, como um biólogo, um físico, um artista. A "natureza bruta", que é o construto coletivo de um objeto do conhecimento, dependendo da visão de cada indivíduo pode se apresentar em objetos de conhecimento diferentes. Se considerarmos um mesmo objeto de conhecimento para um estudante e um cientista, acreditamos que um dos fatores que influenciará a construção de uma explicação sobre esse objeto do conhecimento é o estabelecimento de condições de contorno. Essas condições são mais facilmente delimitadas pelos cientistas do que pelos estudantes.

Partilhamos de conceitos que tem uma parcela em comum aos indivíduos, mas nunca temos certeza se a construção completa de um conceito por um indivíduo é igual ao de outro. Talvez o fato de termos semelhanças na construção de um conceito possa ser justificado por sermos indivíduos de uma mesma espécie. Entretanto, apenas o aspecto coletivo do conhecimento é semelhante e pode ser partilhado, o aspecto individual da construção do conhecimento é próprio, exclusivo, de cada ser humano e fica difícil estabelecermos pontos comuns nessa dimensão do conhecimento.

Os construtos da natureza, como as figuras de gestalt, amplamente difundidas pela Psicologia da Forma, podem se apresentar de maneira diferente.

Assim, quanto mais semelhante for um objeto de conhecimento entre os indivíduos, ou seja, quanto mais atributos compartilhados coletivamente tiver a "natureza bruta", mais facilmente se pode construir um modelo explicativo sobre ele.

Os construtos da natureza representam, portanto, a fonte na qual o conhecimento físico começa e termina. Representa a dimensão do conhecimento onde podemos localizar, dentre outros aspectos, a intervenção do homem sobre o meio natural.

Nas "Experiências pessoais" localizamos toda a experiência anterior que um indivíduo vivenciou ao longo de sua existência. Sua visão de mundo, sua história de vida e suas estruturas construídas, sem entrarmos no mérito se essas estruturas tem características inatas ou se são dependentes do meio. Poderíamos dizer que o que designamos por experiências pessoais se assemelha à "ecologia conceitual" definida por Toulmin (1972). Ecologia conceitual foi o termo designado por Toulmin para definir os conceitos vigentes do indivíduo, dos quais ele se vale para organizar sua investigação. As experiências pessoais se constituem no domínio que contempla elementos dos quais o indivíduo se utiliza para construir seus modelos explicativos pessoais. São os conhecimentos próprios, mas não apenas os exclusivos, que o indivíduo construiu na sua relação com o mundo, quer de modo informal, nas suas interações com o meio ambiente e social (família, amigos, meios de comunicação), quer de maneira formal, através da escola. Nesse aspecto se insere o âmbito pessoal da construção do conhecimento, onde se incluem aspectos individuais, como a afetividade, as lembranças, as preferências e aspectos coletivos, como a linguagem, os valores partilhados, os padrões de julgamento etc.

Evidentemente que, embora contemplando uma característica comum de estudantes e cientistas, as experiências pessoais apresentam diferenças entre indivíduos, sejam cientistas ou estudantes. Para Papert (1986), o meio cultural possibilita o estabelecimento de relações entre o sujeito e o objeto, de modo que, com as fontes fornecidas pelo meio cultural o indivíduo vai construindo seus conceitos.

Para Papert (1986), discípulo de Piaget, o motivo crítico do desenvolvimento lento, ou do não desenvolvimento de vários conceitos, se deve à relativa pobreza do meio cultural e não à complexidade desses conceitos.

Isto quer dizer que, para ele, o fator crítico para o desenvolvimento de um conceito está na falta ou escassez de estímulos para a aprendizagem. Na visão de Papert as fontes do meio cultural são fatores determinantes para tornar os conceitos simples e concretos. Este é um ponto de discordância entre Papert e Piaget. Segundo Papert (1986, 16), Piaget atribuía pouca importância ao papel do meio cultural quando se tratava de conceitos complexos. Para Piaget o meio cultural possibilita o estabelecimento de relações entre o sujeito e o objeto, de modo que - por meio das fontes fornecidas pelo meio cultural - a criança vai construindo seus conceitos. Porém, Piaget admitia existir conceitos complexos para os quais as fontes do meio cultural não eram suficientes para a sua construção, o que justificaria o desenvolvimento lento dos mesmos e por consequência a necessidade de uma instrução formal. Portanto, enquanto para Piaget haveria a necessidade de instrução formal para a aprendizagem de um conceito complexo, para Papert bastaria enriquecer o meio cultural que esse conceito seria aprendido.

Assim como a riqueza do meio cultural pode facilitar a aprendizagem de qualquer conceito, Papert fala ainda da existência de materiais do meio cultural que podem causar bloqueios e influenciar negativamente o processo da aprendizagem. Exemplifica com a ojeriza "cultural" à Matemática que a maioria das pessoas tem. É o que ele denomina de "matofobia" e que se poderia definir como medo da Matemática e/ou medo de aprender Matemática. Para ele, no caso da Matemática *"há tanto uma falta de materiais formais quanto um bloqueio cultural. A matofobia, endêmica à cultura contemporânea impede muitas pessoas de aprenderem qualquer coisa que reconheçam como "matemática", embora elas não tenham dificuldades com o conhecimento matemático quando não o percebem como tal."* (Papert, 1986, 21, grifo nosso)

Nessa discussão entre as posições de Papert e Piaget sobre a complexidade dos conceitos, concordamos com Piaget de que existem conceitos complexos que necessitam de instrução formal, pois esse entendimento justifica mais adequadamente a existência de rupturas e mudanças de paradigmas, por meio das quais ocorreram mudanças profundas no conhecimento científico. Localizar o desenvolvimento de um conceito apenas nas fontes do meio cultural no qual a pessoa está inserida, no nosso entendimento, é aceitar que os conceitos foram se reformulando de modo espontâneo e contínuo, por acumulação.

Embora essa idéia de que a reformulação dos conceitos ocorre espontaneamente por acumulação já tenha sido predominante na sociedade, Bachelard (1983), em 1938, apontava para o equívoco dessa compreensão ao colocar que, muitas vezes, o conhecimento científico, impregnado de conceitos complexos, vai contra o senso comum, o qual se baseia nas fontes do meio cultural. De acordo com a visão de Bachelard podemos dizer que, em alguns casos, as fontes do meio cultural dificultam a construção de novos conceitos.

De fato, podemos encontrar na História da construção do conhecimento científico momentos que apontam as dificuldades dos cientistas em estabelecer novos modelos explicativos. Nesses casos, as fontes do meio cultural não foram elementos suficientes para a construção de uma nova forma de conhecer, atuando em alguns momentos como fatores impeditivos dessa nova construção.

Apontar a existência de conceitos complexos que necessitam de instrução formal, entretanto, não significa desprezar totalmente o papel das fontes do meio cultural, pois é se valendo também dessas fontes que o indivíduo pode reformular seus conceitos, seja ele cientista ou pessoa comum.

No que se refere à complexidade de um conceito, acreditamos que, muitas vezes, essa complexidade é relativa ao meio no qual o sujeito está inserido e portanto está relacionada aos elementos que ele dispõe para construir um conceito. O partilhamento de valores permite a comunicação entre indivíduos e a comunicação crítica permite o reprocessamento de conceitos. Esse reprocessamento possibilita a construção de estruturas de conhecimento cada vez mais complexas. Quem mergulha na complexidade pode não percebê-la do mesmo modo que um indivíduo que está fora do grupo onde o complexo é foco de discussão. Essa complexidade se torna comum para quem está mergulhado num contexto em que ocorre a discussão de um conceito. Assim, um determinado conceito parecerá mais complexo para quem está fora do contexto. Nesse sentido concordamos com Papert quando afirma que *"qualquer coisa é simples se a pessoa consegue incorporá-la ao seu arsenal de modelos"* (Papert, 1986, 13).

Particularmente entre cientistas e estudantes temos, como um fator de diferenciação, o meio cultural no qual cada um está inserido, o que diferencia não só as experiências pessoais, como também os conhecimentos de

Matemática. Nesse aspecto, concordando com Papert, entendemos que o estudante não dispõe, no seu meio cultural, de muitas fontes que favoreçam convenientemente a construção de modelos matemáticos. O conhecimento científico, em particular o conhecimento físico, tem como característica marcante o uso de modelos matemáticos, ou seja a utilização de funções que representem, em boa aproximação, as expectativas teóricas dos fenômenos. Em vista disso, o cientista ao longo de sua formação passa por todo um processo no qual é preparado para fazer uso dos modelos matemáticos, de forma tal que, ao final desse processo podemos dizer que os conhecimentos matemáticos já fazem parte do meio cultural do cientista, sendo então possível localizar grande parte dos seus conhecimentos matemáticos no âmbito das experiências pessoais. Para o estudante ou indivíduo comum o meio cultural, como coloca Papert (1986), parece não possuir "materiais formais" que possibilitem o reconhecimento dos conhecimentos de Matemática.

Os "Conhecimentos de Matemática" se constituem num aspecto onde se localizam todo um conjunto de axiomas, teoremas, conceitos, definições, modelos etc., que além de comporem um corpo de conhecimento independente, servem para estruturar a dependência entre grandezas associadas à realidade. Sendo assim, os conhecimentos de Matemática se constituem em uma linguagem por meio da qual se estrutura o conhecimento físico. Neste aspecto também incluímos os conhecimentos informais de Matemática, isto é, aqueles conhecimentos básicos que qualquer indivíduo se vale sem percebê-los como Matemática, tais como as noções intuitivas de número, geometria, agrupamentos e proporcionalidade. A complexificação destes conhecimentos informais, às vezes, pode resultar nos conhecimentos de Matemática formal. Nesse sentido, eles podem ser, utilizando a terminologia de Papert (1986), "germes culturais" para a construção dos conhecimentos de Matemática.

Cientista e aluno constroem modelos explicativos sobre o mundo real, de modo a torná-lo inteligível, utilizando-se dos modelos matemáticos de que dispõem. A maior ou menor dificuldade dos estudantes em utilizar modelos matemáticos para resolver problemas é algo que podemos perceber no ensino da Física. Quando ao aluno é colocado um determinado problema obtemos respostas satisfatórias, quando a solução depende de conhecimentos de Matemática os quais não são reconhecidos por eles como Matemática. Por exemplo, se pedirmos a eles que determinem o preço de certa quantidade de sanduíches, ou que convertam em moeda nacional o preço em dólar de uma

bicicleta importada, prontamente e com índice de 100% de acerto, os alunos utilizam suas noções de proporcionalidade direta para responder. Agora quando é solicitado que essas mesmas noções sejam utilizadas, por exemplo, em uma transformação de unidades, onde fica evidente se tratar de um conhecimento matemático, as respostas já não são dadas com a mesma facilidade. O aluno não reconhece a noção de proporcionalidade direta que tem como um modelo matemático que pode ser aplicado a várias situações. Considera cada problema como um caso isolado que tem uma resposta isolada, não percebendo que existe um "mecanismo comum" que é utilizado na solução de toda esta classe de problemas. Quando se trata de responder a questões onde há a necessidade de utilizar outras formas de proporcionalidade que não a direta, as dificuldades em responder as questões se acentuam ainda mais.

Devido ao modo como são construídas suas estruturas, a Matemática pode ser utilizada para estruturar modelos e teorias. Como já vimos anteriormente determinada função matemática pode ser definida como modelo quando as implicações de determinado enunciado tem a mesma forma das proposições contidas na estrutura matemática, ou quando tem a mesma forma lógica dessas proposições. Entretanto, no caso do estudante, essa escolha depende, antes de mais nada, do conhecimento de modelos matemáticos. A falta de domínio dos modelos matemáticos parece acentuar as dificuldades dos alunos em perceber a relação entre as grandezas definidas por ele e ainda aprofundar as dificuldades na compreensão dos conceitos envolvidos.

Para cada um dos três aspectos podemos localizar um nível de elaboração de um conceito. A respeito da proporcionalidade direta, por exemplo, temos nas experiências pessoais, a noção de proporcionalidade, que, muitas vezes por construções próprias, é utilizada para resolver problemas com que o indivíduo se defronta no cotidiano. Entretanto, para o estudante, a noção de proporcionalidade direta está vinculada a elementos estáticos, do tipo A está para B, assim como C está para D, onde A, B e C são elementos conhecidos e D é um elemento a determinar. Nos conhecimentos de Matemática a noção de proporcionalidade direta pode assumir uma forma mais elaborada, constituindo-se em um campo conceitual, que podemos representar, dentre outras formas, por " $\frac{Y}{X} = a$ " ou " $y = a \cdot x$ ". Mais que uma forma de representação diferente, temos nesta relação a dependência entre elementos dinâmicos, os quais podem assumir diferentes valores. Nos construtos da natureza, em virtude da forma

lógica das proposições contidas no conceito de proporcionalidade direta, ele pode fazer parte do modelo explicativo de um objeto de conhecimento e expressar uma lei da Física. Por exemplo, na Mecânica Clássica temos que no movimento de uma partícula de massa m , constante, podemos relacionar o módulo de uma força aplicada sobre ela e o valor da aceleração adquirida pela partícula por $F/a = m$ ou $F = m.a$. De acordo com Kneller (1980), para este exemplo, a escolha da função proporção direta¹⁸ como modelo se deveu ao fato de que as implicações do enunciado da relação entre força e aceleração tem a mesma forma das proposições contidas na estrutura matemática.

Não é tão simples a transferência dos conhecimentos pertencentes ao domínio de um aspecto para outro. Em cada um deles existe um universo próprio, com níveis de elaboração conceitual distintos. De um aspecto para outro, ocorre a incorporação de novos elementos a um conceito. Às vezes estes novos elementos acarretam uma reformulação profunda em um conceito. De maneira geral, podemos dizer, com relação ao nível de elaboração de um conceito, que um construto da natureza, como o definimos, isto é, onde localizamos um modelo explicativo, mesmo que embrionário, sobre um evento, se constitui em um domínio no qual um conceito é mais complexo que nos conhecimentos de Matemática. Este último, por sua vez, apresenta uma complexidade maior que um conceito das experiências pessoais.

Para um estudante esta diferença de complexidade pode ser identificada em várias situações. Um exemplo em que podemos encontrar diferenças entre conceitos é no caso da noção de massa. Massa, para um aluno que ingressa na primeira série do segundo grau, embora em alguma série do primeiro grau ele tenha tido oportunidade de entrar em contato com algum conceito formal de massa na disciplina Ciências, é uma "palavra" que está associada a, pelo menos, dois "significados". O primeiro deles é relativo a determinados tipos de alimentos, podendo ser sinônimo de macarrão, mistura para bolos, pastéis etc. O outro significado está relacionado à qualidade de alguma coisa, evento ou pessoa, que é bonita, interessante, "legal". Ainda no âmbito das experiências pessoais, quando o estudante quer saber com quantos "quilos" está, vai numa "balança" e se "pesa". O conceito de massa como uma grandeza física, uma propriedade atribuída a um construto da natureza, parece não possuir pontos de contato com o conceito de massa que o estudante tem,

¹⁸ Função do primeiro grau do tipo $Y = a.X + b$, em que $b = 0$.

pois para ele, é o conceito de peso que está relacionado a esta propriedade. Neste caso, haverá a necessidade de reformulação do esquema conceitual alternativo de massa para que ele se torne um conceito aceito cientificamente e passe a significar uma propriedade que pode ser associada à matéria.

Na nossa discussão, brotou de forma clara a importância da Matemática na construção de modelos. Ela é um aspecto que diferencia os modelos construídos pelos estudantes, dos modelos construídos pelos cientistas. A Matemática fornece um conjunto de estruturas dedutivas, por meio das quais se expressam as leis empíricas ou princípios teóricos. Neste contexto, ela é uma forma de linguagem e ferramenta, por meio da qual são estruturadas as relações entre os elementos constituintes de uma teoria.

Por ser forma de linguagem do conhecimento físico, consideramos que a Matemática tem papel relevante no ensino dessa Ciência, tanto quanto o tem no seu processo de construção. A sua importância não reside somente nos resultados numéricos que ela pode fornecer nos exercícios de fixação de conteúdos, mas por servir de expressão simbólica da dependência entre grandezas físicas. Por este motivo, entendemos que não se pode minimizar a importância da linguagem formal da Ciência, ou colocá-la em segundo plano, sob o risco de proporcionar o distanciamento entre o conhecimento do aluno e o conhecimento científico (Ciência dos cientistas). Como bem coloca Driver, uma das razões a que se pode atribuir a persistência dos esquemas conceituais alternativos é o fato de não se ter produzido a integração entre o conhecimento que os estudantes tinham do mundo real e o conhecimento que proporcionam as relações algébricas abstratas. (Driver, 1988, 8)

Devemos proporcionar ao estudante oportunidades para que o aluno passe a conhecer os modelos matemáticos de modo que possa utilizá-los e interpretá-los em suas diferentes formas de representação (algébrica, gráfica, em forma de tabelas, exemplos e contra-exemplos). E ainda mais, que possam verificar a possibilidade de, por meio deles, expressar regularidades e transformações (Bohm, 1992), mudanças e permanências (Angotti, 1991) entre grandezas físicas.

3.4 - AS PESQUISAS SOBRE PROPORCIONALIDADE E FUNÇÕES

Se pretendemos que o aluno possa utilizar de modelos matemáticos para construir modelos científicos, não podemos desconsiderar a complexidade que esses primeiros possuem na sua construção. Trabalhos como os de Piaget(1958), Carraher (1991), Chin (1992), Sierpinska (1992) e Schliemann et al (1993) chamam nossa atenção para as dificuldades de aprendizagem que os alunos podem apresentar e nos fornecem subsídios para empreendermos ações mais eficazes no ensino, de modo a diminuir as dificuldades geralmente apresentadas pelos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física.

Um dos elementos básicos para a construção de modelos matemáticos é a compreensão da noção de proporcionalidade. Piaget (1958)(1976), ao trabalhar num contexto em que eram solicitadas respostas utilizando da Matemática formal, indicou que a compreensão de proporcionalidade era uma aquisição construída aproximadamente aos 15 anos. Pesquisas, como as de Carraher (1991) apontam que a noção de proporcionalidade é construída por crianças pequenas e adultos sem escolarização, baseadas em suas experiências pessoais, utilizando de seus conhecimentos informais de Matemática. Ou seja, desde que não seja solicitado um formalismo específico para a resolução de um problema, os alunos conseguem chegar a um resultado satisfatório. Outro aspecto também percebido é que o sucesso na resolução desses problemas estava diretamente relacionado com o contexto dos problemas. Quando se tratavam de problemas que envolviam situações da vida diária, como compra e venda de objetos, por exemplo, o problema era resolvido com facilidade (Spinillo, 1993). Porém se a situação envolvia conteúdos distantes do cotidiano, esses problemas pareciam-lhes impossíveis de resolver. A dificuldade de resposta aumentava se o problema envolvesse Física e Química e necessitasse a utilização de fórmulas. (Carraher, 1986; Schliemann e Carraher, 1986)

Podemos então concluir que o estudante possui esquema conceitual alternativo sobre proporcionalidade direta, o qual é baseado em seus conhecimentos informais de Matemática, mas que, lembrando os dizeres de Papert (1986), não é reconhecido por ele como sendo Matemática. Porém, quando se trata de abordar a proporcionalidade direta num contexto matemático formal, os alunos começam a apresentar dificuldades em responder corretamente a situações que lhes são apresentadas. Magalhães (1990) atribui ao

fato de que a compreensão sobre a proporcionalidade direta não se transfere automaticamente a outros conteúdos e contextos. Isso nos faz concluir a existência de uma descontinuidade entre a compreensão sobre proporcionalidade dos alunos e o conhecimento matemático formal de proporcionalidade. Podemos interpretar então que, para o aluno, o conhecimento matemático formal de proporcionalidade é complexo e esta complexidade deve ser considerada para que haja a construção desse conhecimento. Podemos ainda interpretar por esses estudos que uma das dificuldades dos alunos reside em expressar a sua compreensão de proporcionalidade em linguagem simbólica.

Podemos identificar, para o estudante, duas noções distintas de proporcionalidade direta. Uma delas pertencente às experiências pessoais e a outra localizada nos conhecimentos de Matemática e, parece que, do ponto de vista do aluno, não existe pontos de contato entre essas duas dimensões.

Se o aluno, conforme indicam os trabalhos citados, já apresenta dificuldades na formalização da noção de proporcionalidade direta, na noção de função essas dificuldades se apresentam mais amplas e profundas. Meira (1993) coloca que, historicamente, o conceito de funções se origina no estudo das razões e proporções, mas que *"o domínio matemático de funções, entretanto, forma um campo conceitual próprio que inclui idéias, representações, problemas e atividades que se estendem muito mais além do estudo de razões e proporções"*. (Meira, 1993, 62).

Uma constatação desta afirmação pode ser verificada no trabalho empreendido por Chin (1992), que realizou uma investigação sobre a compreensão significativa da proporcionalidade direta. Solicitou que estudantes do programa de formação de professores de Ciências da Malásia, cujo curso habilita para atuar no ensino secundário, respondessem a diferentes tarefas que envolviam a proporcionalidade direta, nas diferentes formas de representação, isto é, a representação gráfica, na forma de dados apresentados em tabelas e a representação matemática ou analítica. As tarefas também envolviam a utilização da definição de proporcionalidade direta e a listagem de exemplos e contra-exemplos vinculados ao conteúdo físico. Verificou que esses estudantes, de idade média de 22 anos, em sua maioria apresentaram uma performance um tanto baixa nas tarefas propostas. A pouca consistência nas respostas levou-o a concluir que, de maneira geral, os estudantes interpretavam

cada uma das tarefas como pertencente a conhecimentos isolados. Por esse trabalho vemos que, mesmo em estudantes com relativa maturidade e em curso de formação específica, é possível detectar dificuldades em transitar pelas diferentes formas de representação da função proporcionalidade direta.

Ao longo de nossa prática também temos constatado essas dificuldades. Temos constatado que o aluno, ao ingressar no segundo grau, apresenta dificuldades em transitar nas diferentes formas de representação da proporcionalidade direta, principalmente se os problemas propostos envolvem conhecimentos que reconhecem como "Matemática" ou se envolvem algum fenômeno físico. O estudante também apresenta dificuldades quando é solicitado a resolver problemas que envolvam outras formas de proporcionalidade, como a inversa, com o quadrado e com o cubo. Nesses casos percebe-se que o conhecimento de Matemática informal, no que tange à proporcionalidade direta continua sendo utilizado para responder esta classe de problemas.

As dificuldades em funções apresentadas pelos alunos originam-se na complexidade na construção do próprio conteúdo de funções. A complexidade da noção de função é analisada por Sierpinska (1992), identificando a existência de vários obstáculos epistemológicos¹⁹ referentes a essas noções. Alguns destes obstáculos são localizados por esta pesquisadora no âmbito da filosofia da Matemática, que via de regra considera que a Matemática não se refere a problemas práticos. Outros obstáculos são atribuídos a esquemas inconscientes de pensamento, construídos a partir de conhecimentos anteriores, tais como o fato de se observar um fenômeno como um todo, sem a atenção para os objetos de mudança e a resolução de problemas para os quais a resposta correta admite, no máximo, dois valores para uma determinada quantidade desconhecida. Para superá-los e ir além deles, ela prescreve ações que denomina de "atos de entendimento". Um ato de entendimento é, para Sierpinska, um reforço a uma nova forma de conhecer alguma coisa, uma ação a ser empreendida para que essa nova forma de conhecer ganhe significado.

¹⁹ Uma discussão sobre os obstáculos epistemológicos e o atos de entendimento da noção de função, propostos por Sierpinska, pode ser encontrada em "Os obstáculos epistemológicos e a educação matemática", dissertação de mestrado de José Análio de Oliveira Trindade. UFSC, Florianópolis, 1996.

Sierpínska (1992), ao indicar os obstáculos epistemológicos e discorrer sobre os atos de entendimento necessários à compreensão do conceito de função, fornece elementos importantes que devem ser considerados no processo de ensino-aprendizagem deste conteúdo. Mais que isso, ela deixa evidente a necessidade do ensino destes conteúdos por meio da resolução de problemas práticos. Segundo ela, a melhor maneira de possibilitar a construção das noções de funções é apresentá-las como modelos de relações observadas. Isto significa apresentá-las, como ferramentas para descrição e previsão, tal como foram utilizadas no seu processo histórico de construção, fortemente vinculado ao processo de construção da Ciência Moderna, especialmente a Física. Nesta perspectiva, as variáveis "x" e "y" passam a corresponder a um "mundo de mudanças ou de objetos mutáveis". A relação entre estas variáveis corresponde a um "mundo de processo ou mundo de relações", que transforma objetos em outros objetos (Sierpínska, 1992, 30). Assim, este mundo de relações é um mundo de regras, padrões e leis que determinam como o objeto "y" se comporta e se modifica, dependendo do objeto "x".

Consideramos que alguns dos atos de entendimento colocados por Sierpínska (1992) são fundamentais para que o aluno compreenda a Matemática como elemento estruturador do conhecimento físico. Estes atos de entendimento objetivam permitir a compreensão de que funções não se limitam exclusivamente à operações com símbolos. Para tanto é necessária a identificação de mudanças como um problema prático a ser resolvido. Entretanto, ela enfatiza a importância de que o aluno perceba quais os elementos responsáveis para que determinada mudança ocorra, isto é, para que seja dada atenção para o que muda (objetos de mudança) em um evento e não só para o como muda. Neste sentido, salienta ainda a necessidade de percepção de regularidades nas mudanças, pois desta maneira é possível o estabelecimento das relações entre os objetos mutáveis.

Para que o estudante perceba mudanças e permanências no mundo das relações, Sierpínska (1992) coloca a necessidade de ações que permitam o estabelecimento de diferenças e semelhanças entre variáveis e constantes. Esta discriminação também se faz necessária entre variáveis dependentes e independentes e entre números e quantidades. Outra discriminação importante é quanto às diferentes formas de representar funções. Para isso se faz necessário que o estudante utilize as várias formas de representação de uma função e expresse verbalmente a dependência entre as grandezas.

Outro aspecto levantado por Sierpinska (1992), se refere ao fato de que devem ser apresentadas aos alunos situações-problema nas quais a proporcionalidade direta não se apresente como um tipo privilegiado de função. Como já mencionamos, a proporcionalidade direta, além de estar fortemente vinculada às experiências pessoais, é enfatizada em vários momentos ao longo do ensino da Matemática, desde as séries iniciais. Assim, se faz necessário que seja colocado ao aluno situações-problema para as quais a proporcionalidade direta não fornece solução.

De maneira geral, quando os pesquisadores analisam a complexidade das noções de funções, o fazem localizando a atenção sobre uma pequena fração desses conhecimentos. Partindo de um problema específico, buscam, à luz de um referencial, as origens, processos e possíveis caminhos para a solução do problema enfocado. Já os professores, na sala de aula, se deparam com todas as nuances, amplitudes e profundidades dos problemas e têm que trabalhar num universo em que as dificuldades encontradas no processo de ensino-aprendizagem têm as mais diversas origens. No caso específico de funções, que é um dos conteúdos escolares e cuja compreensão é de fundamental importância no ensino de Física, encontramos que o aluno pode atingir uma concepção operacional e uma concepção estrutural. Sfard (1992), ao estudar a gênese do conceito de função, afirma que é possível duas abordagens para o seu conceito : a concepção operacional e a concepção estrutural. A concepção operacional está relacionada ao entendimento da noção de função como referente a um processo dinâmico, por exemplo, como um procedimento computacional, ou como um modelo de relações observadas. Já a concepção estrutural está relacionada ao entendimento do conceito de função como um objeto abstrato. A concepção estrutural de funções, na sua forma mais elaborada, é construída geralmente após estudos avançados desses conteúdos, quando o estudante já frequenta um curso de nível superior. Sfard (1992) coloca ainda que, quando um novo conceito é introduzido, não se deve apresentá-lo na sua concepção estrutural e que esta concepção não deve ser exigida enquanto o aluno pode trabalhar sem ela. Por esses motivos, para darmos conta do nosso problema, nos proporemos a trabalhar num contexto que permita que o aluno construa um concepção operacional de funções, a qual julgamos suficiente para que possa utilizar-se dos modelos matemáticos, que servirão para a compreensão dos conteúdos desenvolvidos na Física do ensino de 2o grau.

Assim como papel dos modelos matemáticos se destacou em nossa discussão, tornou-se evidente, em diversos momentos, que o caráter individual do conhecimento interfere na construção de modelos por parte dos estudantes. Se de um lado essas construções são guiadas por considerações de ordem interna, de modo que elas se adequem aos seus esquemas anteriores, de outro os estudantes não se apercebem de que muitas de suas construções não são exclusivas e de que eles se valem de inúmeros elementos que são definidos coletivamente. No próximo item encaminharemos nossa discussão na perspectiva de propormos um instrumento de ensino que tenta dar conta dessas questões.

3.5 - A IMPORTÂNCIA DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL COMO INSTRUMENTO DE ENSINO.

Se quisermos que haja reformulação nos esquemas conceituais alternativos, de modo a se aproximarem o melhor possível dos esquemas conceituais aceitos cientificamente, acreditamos que uma das ações a serem empreendidas é possibilitar ao aluno oportunidades de integração entre o conhecimento que tem da natureza, enfatizando que esta é uma realidade construída a partir de suas experiências pessoais. Que o objeto do conhecimento construído depende não apenas da experiência sensível que a natureza pode propiciar, mas de expectativas teóricas e conhecimentos anteriores. E que relações algébricas abstratas, dentro de determinados limites, podem expressar regularidades e transformações entre grandezas.

Ao tentar a aproximação entre os esquemas conceituais alternativos e os esquemas conceituais cientificamente aceitos está se alterando cada um dos aspectos do conhecimento científico que discutimos anteriormente. Quando se deseja que o aluno passe a ter a concepção aceita cientificamente, julgamos necessário que a experiência pessoal seja o ponto de partida, isto é, que seja explicitada a sua utilização, de modo a permitir a percepção de que muitos elementos desse domínio não são individuais. Embora pessoais, esses elementos sofrem influências do meio e, portanto, possuem uma interface com a coletividade na qual eles se inserem. É preciso fazer com que os alunos tomem consciência de seus conhecimentos de Matemática, apresentando situações nas quais eles tenham que se valer de modelos matemáticos. É necessário colocá-lo diante de situações em que se modifica seus "construtos da natureza" iniciais (ou objetos do conhecimento iniciais), realizando observações dirigidas, em que fiquem estabelecidas coletivamente determinadas condições de contorno.

Mencionamos anteriormente que um dos procedimentos de construção e validação do conhecimento físico é a experimentação. A experimentação é, nesse sentido, constituída por práticas que são compartilhadas pela comunidade científica, nas quais alguns critérios são estabelecidos. De maneira geral, é por meio da experimentação que a comunidade científica busca a confirmação de suas expectativas teóricas.

Já na Ciência da escola, de maneira geral, a experimentação é apresentada aos alunos como um elemento de demonstração ou apenas como evidência empírica da validação de uma teoria, ignorando a construção teórica que a precedeu, o contexto problemático ao qual está vinculada e, geralmente, reforçando a interpretação ingênua de que a teoria é um retrato fiel da realidade⁽²⁰⁾.

De modo geral, quando alguma experimentação é desenvolvida ela é realizada pelo professor em sala, como demonstração ou ilustração do conteúdo. Em outras ocasiões elas são realizadas pelos alunos, que vão ao laboratório para comprovar o conteúdo antes ministrado por meio de aulas expositivas. Ainda podemos dizer que, na maioria das vezes, ela é antes meticulosamente testada pelo professor, que evita qualquer surpresa. Neste sentido, uma experiência é considerada boa quando ela se ajusta perfeitamente para validar a teoria correspondente. Se uma experiência apresenta muitas divergências em relação ao conteúdo, geralmente ela é descartada.

Pouco se encontra a respeito da justificativa de utilização da experimentação no ensino de Física. Na França, por exemplo, a experimentação no ensino das Ciências naturais é uma obrigatoriedade estabelecida em lei⁽²¹⁾ desde 1902, por meio da qual ficou determinado "*que existam exercícios práticos e experimentação no ensino de Ciências e no segundo ciclo*". Nos parece haver, tacitamente, a compreensão de que o fato da experimentação ser inerente à atividade científica ela deva fazer parte do ensino dessa Ciência, sem que muitas discussões se façam a respeito do seu papel neste contexto. Talvez, novamente inspirados por uma tendência empirista, muitas das inclusões da experimentação no ensino tenha ocorrido pelo fato de se considerar que o simples contato com materiais experimentais promova a incorporação dos conhecimentos relacionados a eles. Não vamos aqui execrar todas as tentativas de inclusão da experimentação no ensino. Assim fazendo estaríamos depondo, inclusive, contra os motivos que nos levaram a seguir uma carreira acadêmica que tem pontos de contato com a área científica e contra a nossa prática. Não se

²⁰ Sobre a natureza, caráter e enfoque das atividades experimentais como instrumento de ensino ver de José de Pinho Alves Filho texto mimeo Atividades Experimentais : Um instrumento de ensino. UFSC, Florianópolis, SC, 1987, o painel Experimental activities : nature, scope and character, pag. 75 e o painel What is experimental activity and its function ? pag. 76, no caderno de resumos da Int. Conf. "Science and Mathematics Education", Concepción, Chile, 1994.

²¹ Bulletin Administratif du Ministère de L'Instruction Publique, n° 1552 de 07/6/1902.

pode negar alguns efeitos benéficos dessas tentativas. Elas, pelo menos, quebram a rotina das aulas expositivas, nas quais os "imagine que..." e "suponha que ..." são uma constante. Elas também podem promover alguns "estalos" ou "insights" nos alunos. O contato dos alunos com situações experimentais, de maneira geral, marcam determinados conteúdos, dão um certo significado a eles. Quem não lembra da experiência para comprovar que o ar tem peso, na qual o balãozinho cheio fazia a balancinha pender para o seu lado ? Ou daquela em que o balãozinho "se enchia sozinho" quando era aproximado de uma região aquecida ?

A concepção construtivista do processo de ensino-aprendizagem tem sido a tônica dos encontros e simpósios de ensino de Ciências nos últimos anos. Por meio deles pode se ter conhecimento de trabalhos que estão sendo desenvolvidos nessa área. Entretanto, no ensino de Ciências em geral, em poucas ocasiões a experimentação é utilizada como instrumento de construção do conhecimento, na maioria das vezes é utilizada como panacéia e como confirmação do conhecimento.

Em nosso entendimento a experimentação, que é inerente à prática científica, pode tornar-se uma atividade construtiva; isto é, um instrumento de ensino capaz de auxiliar a construção de esquemas conceituais mais próximos dos esquemas aceitos cientificamente. Para isso a experimentação deve tornar-se uma atividade experimental. Isso significa que ela deve se constituir de tarefas que permitam a utilização da dimensão coletiva do conhecimento físico. As atividades experimentais podem propiciar momentos em que o estudante tenha que se valer, explicitamente, não apenas de suas construções individuais, mas utilizar de procedimentos de uma prática coletiva. Para tanto, a atividade experimental deve, inicialmente, oportunizar ao estudante conscientizar-se de que seus conhecimentos anteriores são fontes das quais ele pode dispor para construir expectativas teóricas sobre um evento ou objeto de conhecimento. A partir desse fato, a atividade experimental deve permitir que os alunos elaborem relações que expressem as regularidades construídas a partir da observação dirigida pelas expectativas teóricas e da medida de grandezas em eventos previamente escolhidos.

Acreditamos que as atividades experimentais podem funcionar como situações onde os alunos atuem como modelizadores e que, desse modo, compreendam a utilidade relativa dos modelos. Utilidade relativa porque os

modelos permitem explicar e fazer previsões, porém dentro dos limites impostos na sua construção. Assim, o aluno experimentará alguns aspectos da dinâmica de funcionamento do trabalho científico, pois para elaborar uma relação que expresse a regularidade construída ele terá que se valer dos modelos matemáticos. Para que um modelo matemático dê conta de estruturar um conhecimento sobre determinado conjunto de eventos se faz necessário que, além de coerente, ele permita que se faça algumas previsões. Certamente, neste processo, haverá o estabelecimento de algumas condições de contorno para que o modelo construído se aproxime do objeto do conhecimento. Na verificação dessa maior ou menor aproximação pode estar um caminho para a compreensão da distinção entre teoria e realidade. Esta pode ser uma forma de diminuir as dificuldades de aprendizagem, que considero fortemente vinculadas ao uso da linguagem formal da Ciência, pois o aluno não consegue estabelecer relações significativas entre essa linguagem e o mundo real.

A importância da utilização de atividade experimental como instrumento de ensino, relaciona-se a pelo menos dois motivos : oportunizar ao aluno momentos em que se faz necessário a utilização de práticas coletivas compartilhadas como meio de construção e validação de um conhecimento, que pode explicar de modo mais satisfatório o mundo real; servir de instrumento de ensino-aprendizagem, no sentido de serem "objetos de pensar"⁽²²⁾.

Em nossa proposta, as atividades experimentais são atividades experimentais modelizadoras, pois tem por objetivo a modelização de variáveis em eventos simples, conhecidos dos alunos, para os quais devem ser estabelecidos limites de validade e condições de contorno. Alguns dos modelos construídos podem, posteriormente, servir como pontos de partida para a construção de outros conceitos relacionados ao conteúdo físico.

CAP 4 - UMA PROPOSTA DE COMO APROXIMAR A CIÊNCIA DO CIENTISTA DA CIÊNCIA DOS ALUNOS

²² "objeto de pensar" é um termo utilizado por Papert (1986, 25) para designar qualquer objeto de conhecimento, bastante vinculado com a experiência pessoal, que permita ao sujeito construir novos conhecimentos a partir desse objeto.

4.1 - INTRODUÇÃO

Nas discussões realizadas nos capítulos anteriores chamamos a atenção para a complexidade e para a dimensão coletiva da Ciência dos cientistas. A atividade científica, orientada por uma prática coletiva, procura uma melhor compreensão do real. O produto dessa atividade resulta, em regra geral, na construção de modelos teóricos, a partir da definição do objeto modelo. Com relação ao aluno vimos que ele, como o indivíduo comum, também constrói modelos, que se constituem nos seus esquemas conceituais alternativos. Entretanto os modelos construídos pelos estudantes são dotados de uma caráter acentuadamente individual, pois não necessitam ser constantemente legitimados. Baseados em suas experiências pessoais e em seus conhecimentos informais de Matemática, esses modelos são compreendidos por eles como a própria realidade em si. Desse modo, interpretam suas construções como o mundo real, enquanto que o conhecimento físico e o conhecimento matemático formal são considerados descolados dessa realidade. Baseando-se fortemente na evidência dos sentidos, não se apercebem de que suas experiências pessoais são impregnadas de padrões, valores e conceitos estabelecidos coletivamente. Ainda, via de regra, os estudantes não reconhecem seus conhecimentos de Matemática como Matemática. Assim, um construto da natureza é encarado como a natureza em si mesma, não se dando conta do caráter construtivo e humano desse objeto de conhecimento.

Pelas razões expostas, concluímos que os conhecimentos de Matemática e a dimensão individual do conhecimento são condicionantes que diferenciam a construção de modelos por cientistas e estudantes.

Ora, se pretendemos que o estudante tenha acesso a cultura elaborada⁽²³⁾ é fundamental que ele conheça os modelos dos quais a Física se vale para tentar compreender a realidade. Se se pretende propiciar uma aprendizagem significativa é imperativo que o aluno compreenda o processo de construção desses modelos. E nesse contexto, o papel estruturante da Matemática é fundamental.

No entanto, como mencionamos no capítulo anterior, tanto nossa prática pedagógica, quanto as pesquisas de Carraher (1986) Schliemann e

²³ Snyders, G. Pedagogia progressista. Coimbra, Almedina, 1974.
Snyders, G. A alegria na escola. São Paulo, Manole, 1988.

Carraher (1986), Magalhães (1990), Sierpinska (1992), Spinillo (1993), Chin (1992), deixam evidente a pouca habilidade dos alunos quando se trata dos modelos matemáticos. Cabe-nos, então, traçar estratégias de ensino que venham a contribuir para que sejam diminuídas as dificuldades de aprendizagem dos alunos, especialmente no que se refere à compreensão de que é possível modelizar matematicamente os construtos da natureza. Nesse sentido, julgamos necessário, proporcionar ao estudante oportunidades de adquirir o domínio de modelos matemáticos, de modo que possa construí-los e interpretá-los em suas diferentes formas de representação.

Motivados por essa necessidade propomos uma unidade de ensino que consiste numa seqüência didática na qual se promove a modelização de variáveis. Nesta seqüência, a atividade experimental é utilizada como um instrumento de ensino, por meio da qual se sistematiza o conteúdo de funções. Partindo de situações conhecidas dos alunos, essa unidade tem o objetivo de permitir a construção dos modelos matemáticos. Por meio dessa unidade podem ser desenvolvidas habilidades, tais como construção de gráficos, análise e interpretação de dados e gráficos, interpolação, extrapolação, generalização e, compreensão de limites de validade de um modelo. Pretende-se desenvolver atividades nas quais o aluno valha-se de modelos matemáticos em situações que lhe permitam a compreensão da transferência potencial desse conhecimento a outros contextos.

Para orientar o desenvolvimento das atividades, nos referenciaremos no trabalho de Sierpinska (1992), no qual encontramos a sugestão de uma série de ações a serem empreendidas para a compreensão da noção de função. Especialmente porque, como já mencionamos no capítulo 3, ela enfatiza que a melhor maneira de possibilitar a construção das noções de funções é apresentá-las como modelos de relações observadas. Isto é, apresentá-las como ferramentas para descrição e previsão.

4.2 - A NECESSIDADE DE UMA INTERFACE QUE SEJA PONTO DE PARTIDA

Como podemos pretender que o aluno, que ingressa na primeira série do segundo grau, compreenda toda uma rede de conceitos físicos que fazem parte da estrutura programática desse nível de ensino, se ele não dispõe de alguns elementos essenciais para a construção desses conhecimentos ? Como proceder se esses elementos são, por si sós, impregnados de dificuldades na sua construção ? Como trabalhar com um conhecimento complexo e, ao mesmo tempo, propiciar a aquisição dos elementos necessários à compreensão deste conhecimento ?

Sem levar em conta outros aspectos que interferem no processo de ensino-aprendizagem, a busca de respostas a essas questões já nos faz pensar muito sobre o que fazer em sala de aula. Entretanto publicações como as de Gil (1983, 1994), Hodson (1985), Millar e Driver (1987), Bell e Pearson (1992) e Désautels et al (1993), apontam que, de maneira geral, essas questões não se encontram presentes nas reflexões e ações dos professores que atuam nesse nível de ensino.

A interpretação ingênua do produto da atividade científica por parte dos professores, que desconsidera a sua complexidade, resulta na apresentação dos conteúdos como "verdades da natureza". Os conceitos e definições relativos ao conteúdo são apresentados isoladamente e os modelos matemáticos são encarados como meros mecanismos de quantificação das grandezas físicas. Nessa situação, os modelos matemáticos não são interpretados como elementos estruturadores do conhecimento científico, capazes de expressar regularidades e transformações. Pouca consideração é dada aos conhecimentos do aluno. De maneira geral, os conhecimentos que o aluno possui são ignorados. Em algumas situações supõe-se que ele nada sabe. Em outras, supõe-se que o que ele conhece é errado e deve ser apagado para aprender o conhecimento correto. Já em outras ocasiões, considera-se que o aluno detém determinados conhecimentos e que é capaz de transferir esses conhecimentos a novas situações. Neste caso, os conhecimentos que os alunos possuem adquirem, de forma implícita ou explícita, o status de "pré-requisitos".

Um conhecimento que é tido como "pré-requisito" para o ensino de Física no 2º grau é o referente às funções. É por meio deste conteúdo que o aluno entra em contato com as diferentes formas de representação de uma função. Isto é, quando o aluno estuda funções é que ele vai construir gráficos, determinar as relações matemáticas que os representam, trabalhar com pares ordenados na forma de tabelas etc. Como já mencionamos, a construção das noções de funções não é tão simples como se pensa, como não é trivial a transferência deste conhecimento específico de Matemática para o âmbito da Física. O aluno pode ter visto funções em Matemática, mas isso não assegura que ele seja capaz de utilizar este conhecimento como elemento estruturador do conhecimento físico.

Se o estudo anterior de funções não é garantia de que o aluno possa utilizar estes conhecimentos em outras situações, podemos imaginar o que ocorre se o aluno não dispõe desse conhecimento formal. Este é um impasse que nos é colocado atualmente : nos programas de ensino de Matemática da maioria das escolas e dos livros didáticos, este conteúdo é visto também na primeira série do segundo grau. Isso significa que o aluno não dispõe desse "pré-requisito" como se supõe. Portanto, na melhor das hipóteses, o aluno entra em contato com o conteúdo físico, ao mesmo tempo em que entra em contato com as noções de funções. Como os modelos matemáticos são estruturadores do conhecimento físico, está estabelecido um impasse para o ensino.

Se se pretende que haja uma aprendizagem significativa dos conceitos físicos entendemos que há a necessidade de procurarmos meios para que os alunos passem a dispor dos elementos necessários à construção desses conceitos. Nessa perspectiva, entendemos que haja a necessidade de uma interface que seja o ponto de partida. Isso significa dizer que julgamos que há a necessidade de etapas iniciadoras que permitam ao estudante a aquisição desses elementos. Esses passos iniciais devem possibilitar que o aluno passe a ter domínio dos modelos matemáticos em contextos que proporcionem a compreensão de que, por meio deles, o conhecimento científico é estruturado e comunicado. Assim, apresentamos uma unidade de ensino, constituída por um conjunto de atividades que contemplam algumas dessas etapas iniciadoras e oportunizam a modelização de variáveis.

Para a unidade de ensino adotamos as proposições de Driver (1988) no que se refere a uma visão construtivista de aprendizagem, enunciadas na

página 64 do capítulo 2. A título recapitulativo, os itens avançados são : dar importância às experiências anteriores dos alunos; dar sentido ao que será aprendido, estabelecendo relações; permitir ao aluno construir ativamente significados, relacionando-os a outros conhecimentos; não transmitir conhecimentos prontos aos estudantes.

A fim de orientar os aspectos fundamentais a serem enfatizados para que se propicie uma aprendizagem significativa sobre modelos matemáticos, nos baseamos em algumas das proposições de Sierpiska (1992, 30), já discutidas no capítulo 3, no que se refere às ações necessárias para o entendimento das noções de funções. Para ela, funções se referem a um mundo de relações entre objetos mutáveis, ou a um mundo de processos que transformam objetos em outros objetos, definidos por regras, padrões e leis. Para entender funções é necessário identificar mudanças como um problema prático a ser resolvido e compreender que elas não se limitam exclusivamente à operações com símbolos. A partir de um problema prático, é preciso identificar regularidades nas relações como uma forma de lidar com mudanças e de estabelecer relações entre os objetos mutáveis (grandezas). Para a identificação dos objetos mutáveis, ou seja, das grandezas que variam e que dependem entre si, é necessário discriminar o modo de pensamento matemático em termos de quantidades conhecidas e desconhecidas e o modo de pensamento em termos de quantidades variáveis e constantes. Também é necessário distinguir variáveis independentes e dependentes, pois é sobre esta distinção que se realizará a escolha que permitirá construir um modelo e perceber o caráter arbitrário dele.

Para romper com o obstáculo epistemológico de que leis em Física nada tem em comum com funções em Matemática, é preciso conscientizar o estudante de que se usa funções para modelar relações entre grandezas físicas e outras. E para romper com a idéia de que um gráfico é um modelo geométrico de uma relação funcional deve-se relacionar as diferentes formas de representar funções, expressar verbalmente a dependência entre as grandezas e discriminar entre as diferentes funções.

A metodologia que propomos no desenvolvimento das atividades experimentais corresponde ao processo de modelização ou modelagem matemática. Esse processo, segundo Bassanezi (1994) é constituído, basicamente, dos seguintes procedimentos : motivação, formulação de hipóteses, validação das hipóteses e novos questionamentos e, enunciado.

A motivação ocorre com a apresentação ao aluno de algum problema significativo ou questionamento sobre uma situação da sua realidade mais imediata. Este problema deve estar relacionado com experiências anteriores dos estudantes. É neste momento que se orienta a atenção do aluno, para "os coisas que mudam" ou "objetos mutáveis", ou seja, para a identificação das grandezas que se relacionam com regularidade. Também deve ser enfatizado aos alunos que a identificação de cada objeto de mudança implica na existência de uma conceituação prévia destes objetos. Isto é, eles, em algum momento, já interagiram com estes objetos e formularam um conceito sobre os mesmos.

A partir da percepção da existência de mudanças e regularidades, passa-se à formulação de hipóteses a respeito dessas mudanças. Nesse momento se explicita as expectativas teóricas que se tem sobre "o mecanismo de regularidade observada". A formulação de hipóteses corresponde a uma "aposta", "pré-teoria", "hipótese justificada", ou ainda, a previsão de comportamento para o objeto modelo.

A validação das hipóteses é iniciada pela experimentação. É o ato de atribuir e obter dados quantitativos dos objetos que mudam, isto é, das grandezas que pareceram, a priori, relacionadas ou dependentes entre si. A forma de apresentação de dados se configura como uma das formas de representação de uma função : a tabela. Para a análise dos dados utiliza-se a construção do gráfico. A partir da distribuição dos pontos e da idealização do problema constrói-se um modelo analítico ou algébrico do mesmo. Com base no modelo analítico se efetua novos questionamentos para o estabelecimento dos limites de utilização do modelo construído.

O enunciado é a etapa conclusiva da atividade experimental, onde há a comparação entre o modelo empírico, os dados experimentais e as expectativas teóricas da "aposta". Nesse momento, além de uma formulação verbal do modelo construído, devem ser suscitadas discussões a respeito da generalização deste modelo. Essas discussões devem ser encaminhadas na perspectiva de sua aplicabilidade em outros contextos análogos, constituindo-se num momento de se elencar os possíveis exemplos e contra-exemplos. Também cabe a colocação de algumas situações para as quais as três formas de representação da função do modelo possam ser utilizadas.

4.3 - O CONTEXTO DA UNIDADE DE ENSINO

Geralmente o conteúdo programático de Física da primeira série do segundo grau inclui uma unidade introdutória. Essa unidade tem o objetivo de apresentar a Física como campo de conhecimento e, na maioria das vezes, é também considerada como uma unidade de revisão ou síntese de conteúdos que, supõe-se, os alunos tiveram nas oito séries do primeiro grau. Dentre esses conteúdos se incluem medidas, transformações de unidades, potenciação, razões e proporções, noções de álgebra, noções de funções etc. A partir dessa unidade é que se inicia os conteúdos de Física.

De modo geral, o primeiro conteúdo específico de Física é Cinemática. Isso significa que o aluno entra em contato com a Física propriamente dita, por meio de um conteúdo eminentemente descritivo, no qual muitas das análises de movimento são realizadas por modelos desses movimentos, estruturados por meio de relações algébricas e apresentados na forma de gráficos, muitos gráficos. Assim, é comum a solicitação aos alunos para que realizem uma série de tarefas, a partir da representação gráfica. Por exemplo, para um gráfico da posição em função de tempo de um móvel em movimento retilíneo uniforme, pode ser solicitado a sua posição em um determinado instante. Este instante pode corresponder a um valor intermediário dos que já estão representados no gráfico. Isso implica que o aluno deverá realizar uma interpolação para responder ao que é solicitado. Se a posição solicitada corresponder a um instante cujo valor é superior aos valores representados no gráfico, o aluno pode fazer uma extrapolação a partir dos dados, ou ainda, ele pode determinar a relação matemática correspondente ao gráfico e então substituir o valor do tempo fornecido. Para este mesmo gráfico pode-se ainda solicitar que seja determinada a distância percorrida durante um certo intervalo de tempo e que seja determinada a velocidade do móvel.

Sem levarmos em conta os conceitos físicos envolvidos num exercício como este, para respondê-lo, o aluno deve, dentre outros aspectos, saber que o gráfico é uma forma de representação de uma função; deve saber "ler", isto é, interpretar um gráfico; saber generalizar a partir de um gráfico; saber determinar o valor de constantes; deve saber determinar a relação matemática que representa os dados apresentados em um gráfico. Além disso, ele deve transferir estes conhecimentos ao contexto do problema, ou seja

interpretar, do ponto de vista da Cinemática, as quantidades fornecidas e determinadas. Portanto, temos aqui um exemplo, das muitas situações que podemos encontrar no ensino de Física do 2º grau, que ilustra a necessidade de utilização das noções de funções e da necessidade de transferência destas noções a outro contexto. Cremos que os saberes necessários à resolução de um exemplo como esse se constituem em motivos para propormos a unidade de ensino discutida a seguir.

Apresentamos a seguir a unidade introdutória do conteúdo programático da primeira série do segundo grau do Colégio de Aplicação da UFSC. Foi nesta unidade que nos baseamos para desenvolver a unidade de ensino. No anexo II o plano de ensino desta série é apresentado integralmente, como também o de outro Colégio de Florianópolis.

Unidade I - Iniciação à Física
1. Introdução
1.1. O que estuda a Física
1.2. Ramos da Física
1.3. Potências de Dez - Ordem de Grandeza
2. Algarismos Significativos
2.1. Grandezas Físicas - Medidas
2.2. Sistema de Unidades em Física
2.3. Equações Dimensionais
2.4. Operações com Algarismos Significativos
3. Funções e Gráficos
3.1. Proporção Direta
3.2. Variação Linear
3.3. Variação com o Quadrado e com o Cubo
3.4. Proporção Inversa

Portanto os conteúdos desenvolvidos na unidade de ensino já integram o programa e estão presentes nos capítulos introdutórios de alguns dos livros didáticos⁽²⁴⁾ destinados a esta série.

²⁴ Alvarenga (1993) , Ferraro (1991) e Paraná (1993)

Como a linguagem científica se vale de números e modelos matemáticos para representar relações entre grandezas, entendemos que inicialmente há a necessidade do aluno distinguir medidas de números. Que passe a entender medidas como padrões estabelecidos pelo homem para interagir com natureza. Diferentes dos números, que são abstrações, as medidas transmitem melhor a idéia de construção humana e os limites desta construção e ainda, que esses padrões permitem a comunicação de resultados obtidos. Cremos que esse procedimento pode permitir um início da desmistificação da Ciência como algo perfeito e absoluto. Assim, as duas primeiras atividades se referem à sub-unidade Algarismos Significativos. Por intermédio delas o aluno desenvolve habilidades de leitura de escalas de instrumentos de medida e realiza operações com algarismos significativos. As demais atividades, para sistematizar o conteúdo referente à Funções e Gráficos, são desenvolvidas de modo que o aluno utilize-se das três formas de representação de uma função, estabelecendo um "modelo explicativo" sobre o evento, estruturado pelos modelos matemáticos correspondentes às funções. Assim, o aluno participará de atividades nas quais deverá ficar explícito o que muda em determinado evento e como ele se modifica.

Uma atividade experimental, da maneira como a entendemos, pode possibilitar o desenvolvimento de habilidades na construção de gráficos, análise de dados, interpolação, extrapolação, generalização, bem como a compreensão de condições de contorno necessárias para a utilização dos modelos. Ao final da atividade, pode ser construído um "modelo teórico" sobre o evento focado por ela. Desse modo, se tenta desmistificar "as fórmulas" que, geralmente são encaradas como algo que surgiu na cabeça de alguma mente genial e que apenas alguns "seres iluminados" podem entendê-las. Principalmente, espera-se que o aluno passe a conhecer e utilizar a linguagem formal da Física e a compreender que o conhecimento é construído a partir da relação do homem com a natureza.

Temos o entendimento que as atividades experimentais podem possibilitar a utilização de práticas compartilhadas e a comunicação de resultados por meio de modelos. Acreditamos que elas se constituem num meio didático para iniciar os alunos ao papel estruturadores das funções. Nesse contexto, as funções se tornam "mecanismos" pelos quais, a partir de dados discretos, o ser humano consegue fazer generalizações e previsões. Ao utilizar práticas compartilhadas, o aluno vai se familiarizando com alguns elementos

dos paradigmas do conhecimento físico. Por esse motivo entendemos que elas sejam adequadas para serem instrumentos de ensino nessas etapas iniciadoras.

4.4 - A UNIDADE DE ENSINO INICIAÇÃO À CIÊNCIAS

Tomando como pressupostos o que discutimos anteriormente, propomos uma unidade de ensino para desenvolver os conteúdos introdutórios da disciplina Física nas primeiras séries do 2º grau. As atividades experimentais são utilizadas como instrumento de ensino e é por meio delas que os conteúdos são sistematizados. Esses conteúdos já fazem parte do programa e estão presentes nos capítulos introdutórios de alguns livros didáticos destinados a esta série. Uma boa discussão destes conteúdos pode ser encontrada no Livro "Curso de Física", volume 1 de Alvarenga (1993).

É bom salientar que existem várias possibilidades para se desenvolver estes conteúdos. Aqui apresentamos uma delas, para ser desenvolvida junto a alunos da 1ª série do 2º grau. Nós mesmos já os desenvolvemos de maneiras diferentes desta aqui apresentada. Como mencionamos no capítulo 1, este trabalho, além de ser uma reflexão a partir de nossa prática de sala de aula, é também resultado de reflexões a atividades que estamos desenvolvendo junto ao GREIVi, desde 1987. Os procedimentos por nós utilizados nos cursos de atualização para professores, por exemplo, foram diferentes dos aqui descritos. Com objetivos e enfoque diferentes, estes conteúdos e atividades foram discutidos na disciplina Instrumentação para o ensino de Física, turmas 92, 93 e 94, do Curso de Licenciatura em Física da UFSC, pelo professor José de Pinho Alves Filho. Fundamentalmente, o que acreditamos que deve ser ressaltado é a seqüência utilizada para o desenvolvimento dos conteúdos e das atividades experimentais. Além de estar mais próxima do processo de construção do conceito de função, esta seqüência rompe com a forma tradicional de apresentação dos conteúdos, que parte do enunciado para chegar às aplicações. A seqüência proposta, como mencionamos anteriormente, é a seqüência do processo de modelização : motivação/problema, formulação de hipóteses, validação/reformulação das hipóteses e, por último, o enunciado.

Embora feitas para serem utilizadas por alunos da primeira série do segundo grau, as atividades descritas a seguir podem ser desenvolvidas também por alunos de Ciências e Matemática no ensino de primeiro grau, desde que adaptadas à série em que serão utilizadas, já que não se desenvolve conteúdos específicos de Física.

Os materiais e/ou equipamentos utilizados nas atividades são relativamente simples e de fácil obtenção. A relação do material utilizado em cada atividade está apresentada junto com as discussões referentes a cada uma delas.

Essas atividades são previstas para serem desenvolvidas pelos alunos, entretanto não são auto-suficientes. Os alunos podem trabalhar em grupos pequenos e o professor funciona como um monitor que coordena a seqüência das atividades e auxilia na elaboração das hipóteses analisadas. A intervenção do professor é fundamental em diversos momentos, para que haja discussão durante o desenrolar da atividade. Sua participação se faz necessária, visto que a atividade em si não dá acesso ao conhecimento, nem é idealizada para a obtenção de dados. Isso implica que o professor deve ter clara a concepção construtivista de Ciência que ele pretende que seus alunos exerçam. Certamente muitos dos procedimentos descritos não são diferentes de outras propostas de atividades experimentais já existentes. O enfoque dado às atividades e as discussões feitas a partir delas é o que faz a diferença da proposta. Esclarecemos ainda que as atividades sugeridas para o desenvolvimento dos conteúdos referentes a funções e gráficos devem ser entendidas como atividades iniciadoras ou introdutórias para cada um dos tipos de função. Faz-se necessário realizar atividades de sistematização e fixação posteriormente a elas.

As atividades, tal como propomos que sejam apresentadas aos alunos, estão agrupadas em um bloco único, ao final deste capítulo, a partir da página 128. Apresentamos a seguir a discussão a respeito de cada uma delas.

ATIVIDADE 1 - ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

Material :

- Tiras retangulares de papel cartão, de 4 comprimentos diferentes.
- Régua milimetrada, pode ser confeccionada com uma tira de papel milimetrado.
- Régua centimetrada e régua decimetrada, confeccionadas com papel cartão.

Desde o início da vida escolar, já no jardim de infância, o aluno entra em contato com instrumentos de medida. A maioria das crianças exibe com

orgulho seu estojo escolar repleto de clips, canetinhas, lápis, borrachas e pequenas régua cheias de enfeites. Entretanto o estudante chega ao segundo grau sem saber expressar, em termos de Algarismos Significativos, a medida realizada com uma régua milimetrada. Nesta atividade solicita-se que o aluno meça o comprimento de tiras de papel com régua decimetrada, centimetrada e milimetrada e que expresse cada uma das medidas com o número adequado de Algarismos Significativos, em centímetros.

Antes de desenvolver esta atividade o professor deve discorrer sobre grandezas físicas e suas unidades, sobre a construção de diversos padrões e instrumentos de medida e, principalmente, sobre as regras de apresentação de uma medida, em termos de Algarismos Significativos. Estes esclarecimentos se fazem necessários porque, certamente, até chegarem à 1ª série do 2º grau, não tenha sido exigido dos alunos a expressão de alguma medida realizada em termos de Algarismos Significativos. De maneira geral, para eles, não existe diferença entre 2 cm, 2,0 cm e 2,00 cm. Também é comum os alunos terem dificuldades em distinguir grandeza de unidade. Para eles, grandeza e unidade são sinônimos, devido ao modo como nos comunicamos no dia-a-dia. Por exemplo, geralmente as pessoas perguntam "que horas são ?" e não "qual o tempo que está marcando no seu relógio ?" Neste caso tempo e hora significam a mesma coisa. Este fato ocorre também quanto à grandeza comprimento, pois geralmente se pergunta "quantos metros de tecido preciso comprar ?" e não "qual o comprimento de tecido que preciso comprar ?" Quanto às medidas, ainda é bom estar atento para o fato dos alunos confundirem o modo como as expressam, por exemplo se determinado objeto tem comprimento de 3,9 cm ou 3,09 cm. É comum eles terem o entendimento de que se trata do mesmo valor.

Esta atividade faz uso de régua milimetrada, centimetrada e decimetrada (vide atividade 1, página 130). As duas últimas podem ser confeccionadas em papel cartão, já que não é comum encontrá-las no comércio. Para se ter uma boa régua milimetrada sugerimos a sua confecção com papel milimetrado, pois geralmente as régua milimetradas que os alunos possuem não têm os milímetros idênticos, principalmente se foram conseguidas como brindes de livrarias ou de alguma campanha eleitoral. Este fato já fornece material para discussão sobre a precisão dos instrumentos de medida.

A atividade serve para o aluno compreender que uma medida depende do instrumento utilizado para realizá-la e tem por objetivo colocá-lo

em contato com procedimentos técnicos de medida. Por esse motivo, ela não apresenta alguns dos passos descritos na metodologia das atividades experimentais, como formulação de hipóteses e análise dos dados. Esta é uma atividade que objetiva o "saber fazer", neste caso, saber utilizar instrumentos de medida.

Esta atividade, como também a seguinte, além de oportunizarem a utilização de instrumentos de medida, devem propiciar discussões sobre a natureza da construção do conhecimento científico, no que se refere à utilização de regras e padrões estabelecidos coletivamente, no caso, o metro. Para isso deve ser enfatizado que medidas não são propriedades exclusivas dos objetos medidos, mas que são obtidas pelo fato do homem ter atribuído propriedades a eles. As medidas são obtidas por meio de instrumentos que, por mais sofisticados que sejam, possuem erros e, portanto, não são verdades absolutas. Outro aspecto a ser enfatizado é que os padrões de medida são estabelecidos coletivamente. Para que haja comunicação dos resultados das medidas há a necessidade de adoção de padrões de medida estabelecidos coletivamente e de regras de apresentação dos mesmos.

Concluída a atividade, o professor pode solicitar que os alunos realizem outras medidas, expressando-as corretamente segundo as regras dos algarismos significativos. Por exemplo, pode solicitar que eles informem o tempo que está sendo marcado por seus relógios. Como atualmente existem vários modelos de relógio, esta atividade os auxiliará na compreensão a respeito da precisão dos instrumentos.

ATIVIDADE 2 - OPERAÇÕES COM ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

Material :

- Tiras retangulares de papel cartão, de 2 comprimentos diferentes.
- Régua milimetrada, régua centimetrada e régua decimetrada.

Nesta atividade solicita-se que o aluno realize algumas operações com as medidas efetuadas. A primeira adição solicitada não suscita problemas, uma vez que todas as medidas são feitas com o mesmo tipo de régua (vide atividade 2, página 131). É na segunda adição, onde as medidas foram obtidas

com régua diferentes, que haverá a necessidade de procurar algum procedimento para que o resultado de uma adição contenha algarismos significativos apenas, pois o modo como comumente adicionam faz com que o resultado contenha mais de um algarismo duvidoso.

Na multiplicação, embora tenha sido utilizado um mesmo tipo de régua, também haverá a necessidade do estabelecimento de procedimentos para que o produto contenha apenas um algarismo duvidoso.

Ao final, compara-se os procedimentos que tiveram que utilizar para que os resultados das operações mantivessem apenas um algarismo duvidoso com as regras estabelecidas sobre algarismos significativos. Assim, o aluno passa a compreender a lógica das regras estabelecidas e não simplesmente a "decorá-las". Cremos que desta forma existe a possibilidade de proporcionar uma aprendizagem significativa, uma vez contemplados os aspectos que caracterizam uma visão construtivista de aprendizagem.

Os dados desta atividade ainda podem ser utilizados em transformações de unidades de comprimento e área.

ATIVIDADE 3 - DOMINÓ

Material :

- 9 peças de dominó de um mesmo jogo, por grupo de alunos.
- Régua milimetrada feita com tira de papel milimetrado

Esta atividade tem como objetivo a sistematização da proporção direta, ou seja, da função de primeiro grau incompleta (do tipo : $y = a.x$). (atividade 3, página 133)

A discussão desta atividade se inicia pelo próprio título. Quando apresento a eles um conjunto de peças retangulares, que têm uns pontos brancos em uma das faces, imediatamente eles denominam essas peças de "dominós". Dominó é um conceito compartilhado. É um jogo que tem determinadas regras, que são estabelecidas coletivamente. Para jogar dominó é necessário conhecê-las. Porém, o que se deseja não é que eles aprendam a jogar dominó. Aliás quaisquer, peças regulares, como caixas

de fósforos, por exemplo, poderiam ser utilizadas nesta atividade, mas o dominó é interessante, justamente por se tratar de um jogo conhecido deles. O jogo de dominó é um conhecimento compartilhado. Aqui se inicia a discussão de que, assim como o jogo de dominó, o conhecimento científico é constituído por práticas estabelecidas coletivamente.

O professor pede aos alunos que listem as qualidades (grandezas) que podem ser observadas e atribuídas ao conjunto de peças de dominós. Após a listagem, solicita-se que eles procurem aquelas que dependem entre si (cor, comprimento, largura, espessura, área, volume). Pede-se então que dirijam sua atenção à espessura de cada peça. Pergunta-se se é possível estabelecer alguma regularidade entre o número de peças de dominó e a altura da pilha de peças. A resposta que se tem é imediata : "quanto maior o número de peças, maior a altura da pilha, é óbvio !" Aqui é fundamental dar ênfase ao que muda (objetos mutáveis) no empilhamento dos dominós, ou seja ao número de peças e à altura da pilha. É bom esclarecer também que, neste caso, as demais grandezas listadas anteriormente não contribuem para a variação da altura da pilha.

Esclarecendo aos alunos que se pode apresentar os dados obtidos em um determinado evento em forma de tabelas, chama-se a atenção deles para o fato que, na maioria das lojas onde se faz fotocópias, é comum encontrarmos uma tabela com o preço de acordo com o número de cópias. O professor solicita que eles completem uma tabela, na qual são atribuídas algumas quantidades de dominós que devem ser empilhados para serem determinadas as respectivas alturas. Eles devem medir a altura e expressar cada uma delas em termos de algarismos significativos.

Propositadamente, não é solicitado que eles meçam altura correspondente a uma peça. Dessa maneira, ao observarem os dados em suas tabelas, nem sempre fica imediatamente claro para eles a proporcionalidade direta entre a altura da pilha e o número de peças empilhadas. Aliás, quando algum aluno percebe a proporcionalidade direta entre as grandezas, geralmente fica incomodado porque os dados obtidos por meio das medidas não são aqueles que ele esperava. Isso porque o aluno utiliza de suas noções de proporcionalidade direta para fazer previsões. Ele acredita que há algo errado : "Eu fiz as contas. Para tantos dominós deveria dar tal valor e não deu". Esse tipo de situação nos auxilia a discutir que os conhecimentos anteriores já os

levaram a fazer previsões. Estas previsões ("as contas") foram feitas com base em uma idealização sobre comportamento dos dominós que eram empilhados. Nessa idealização, ou modelo construído, não é levado em conta as irregularidades originadas na fabricação das peças de dominó. É conveniente chamar a atenção para o fato que, dentre os dominós que cada aluno utilizou, pode haver dominós confeccionados no início do dia, quando as lixas são novas e o operário está com um bom "pique" de trabalho. Esses dominós certamente são um pouco mais finos e bem lixados do que aqueles feitos ao final do dia, quando a lixa já está gasta e o operário cansado. Com esse exemplo, aponta-se a vasta possibilidade de fatores que se encontram presentes em um evento e que a idealização humana não consegue dar conta de todos. A realidade é mais complexa do que o homem pode idealizar, por isso o modelo não necessita ser o espelho efetivo da realidade.

Com base nos dados, solicita-se que os alunos passem para a representação gráfica dos dados da tabela. Embora eles já tenham construído gráficos ao longo da vida estudantil, é necessário explicar detalhadamente esta forma de representação. Dentre elas : atribuição das grandezas aos eixos, estabelecimento de escalas, verificação da distribuição dos pontos. Aqui discute-se também o que é uma variável dependente e independente. É a opção de quem depende de quem. Esta discriminação deve ser colocada como uma escolha efetuada pelo ser humano. No entanto é necessário deixar claro que uma determinada opção implicará em uma determinada interpretação do problema.

A escolha e o traçado da "melhor curva" é um momento crucial nessa atividade, pois é aqui que fica representado, registrado no papel, o salto que o ser humano dá para a construção de um modelo. Nesse momento o ser humano abandona a "realidade" dos dados e passa a representar sua idealização. A partir de dados discretos, quantidades inteiras de dominós, é possível imaginar quantidades de dominós que a atividade não oportuniza, tais como frações de um dominó ou milhares deles. Nessa idealização não são consideradas as diferenças de fabricação entre as peças e os possíveis erros de medida e passa-se a ter dominós ideais. Esse dominó ideal representa a média dos dominós do fabricante, ou seja, um dominó padrão.

É bom salientar que o dominó, embora idealizado, não está afastado da realidade e é bem possível que boa parte dos dominós sejam iguais ao dominó idealizado. Como exemplo de idealização e padrão, cita-se a altura média do ser humano, que no caso dos homens é de 1,70 m. Isso não significa

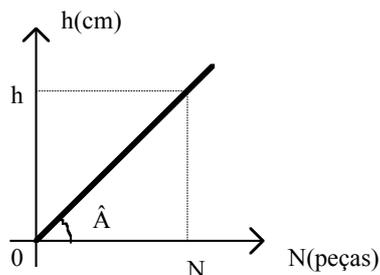
que toda a população masculina adulta do planeta tenha esta altura. Também a nota bimestral dos alunos pode servir como exemplo, pois ela é uma média de todas as notas do bimestre. Ela pode ser, por exemplo : 7,0, mas pode ter ocorrido que nenhuma das notas tenha sido esta.

Concluída a construção do gráfico, solicita-se que eles expressem verbalmente o comportamento da pilha de dominós à medida que adicionamos peças à ela. Algo como : a altura da pilha de dominós é igual a altura de um dominó vezes o número de dominós empilhados. Feito isto, pede-se que expressem em linguagem simbólica este comportamento tal como : $h = h_1 \cdot N$.

Compara-se a expressão assim obtida com a que se pode construir a partir da definição de tangente aplicada para dois pontos específicos : o correspondente ao (0,0) e a um ponto genérico qualquer (h,N)⁽²⁵⁾. Desse modo discute-se o fato de que a representação gráfica tem a mesma forma lógica da proposição apresentada verbalmente e em linguagem simbólica. Retornando à discussão a respeito do que muda nesta atividade pode-se promover o entendimento sobre mudanças e permanências em um evento. O que muda é o valor assumido por uma das grandezas quando o valor da outra se modifica. O que permanece são as grandezas e a relação entre elas.

Ao final, lista-se os limites de utilização do modelo construído e exemplos de eventos em que eles podem identificar semelhante comportamento entre as grandezas, tais como a relação entre o preço e o número de pães, chicletes, quantidade de carne, de tecido comprado etc. É nesse momento que se esclarece a existência de um valor constante para utilização desse modelo às situações por eles apresentadas. Quando os alunos apresentam exemplos para os

²⁵ Pelo uso de relações trigonométricas no triângulo retângulo :



$$\operatorname{tg} \hat{A} = \text{cat. oposto/cateto adjacente}$$

$$\operatorname{tg} \hat{A} = h - 0 / N - 0$$

$$\operatorname{tg} \hat{A} = h / N$$

$$h_1 = h / N, \text{ onde } h_1 \text{ é a altura média de 1 dominó}$$

$$h = h_1 \cdot N$$

quais a proporcionalidade direta não se aplica, ou seja, quando o modelo "não se encaixa", deixa-se para reflexão o seguinte questionamento : será que existe algum modelo por meio do qual se pode expressar o comportamento entre as grandezas mencionadas ? O preço pago em uma corrida de táxi, o preço pago em uma conta de bar onde tem "couvert", a área de um disco em relação ao raio são exemplos de situações citadas pelos alunos.

É fundamental esclarecer neste momento que, ao construirmos um modelo para os dominós, estamos idealizando que todos dominós são iguais, ou seja, estamos estabelecendo um dominó ideal. Para a construção deste modelo foram utilizados procedimentos que também são utilizados na construção do conhecimento científico. Entretanto é necessário frisar que estes não são os únicos procedimentos adotados e que não é a partir de uma quantidade discreta e singular de dados que um modelo se estabelece como conhecimento científico.

Por meio desta atividade o aluno constrói um modelo explicativo para um evento, estruturado por um modelo matemático, utilizando das três formas de representação de uma função do primeiro grau incompleta (do tipo $y = a.x$). Também expressa verbalmente o seu modelo e lista exemplos de eventos em que pode utilizar o mesmo modelo matemático. Concluída a atividade é que se sistematiza o conteúdo referente à proporção direta, relacionando-a ao conteúdo matemático e utilizando-se da mesma simbologia.

Após o desenvolvimento desta atividade, recomenda-se a realização de exercícios, nos quais os alunos tenham que se utilizar das três formas de representação da função em situações por eles conhecidas. Por exemplo, que eles construam um "modelo explicativo" da mesma maneira que foi feito para os dominós, a respeito do preço pago e o número de chicletes comprados.

TFP

Comment: Página: 119

ATIVIDADE 4 - PVC

Material :

- Fatias de cano de PVC de vários diâmetros.
- Régua de papel milimetrado.

Os procedimentos são os mesmos utilizados para os dominós, com a diferença que, neste caso os valores das duas grandezas que serão relacionadas deverão ser medidos, isto é, não há a atribuição de valores para uma das grandezas.(atividade 4, página 135)

Esta atividade tem peculiaridades bastante interessantes. Ao contrário da atividade dominó, o aluno não consegue perceber qualquer regularidade a partir das medidas realizadas. É apenas no momento da idealização construída, pela distribuição dos pontos, que ele verifica a existência da proporcionalidade direta entre o comprimento e o diâmetro das fatias de PVC. Outro fato interessante é que boa parte dos alunos obtém o valor 3,14 para a constante de proporcionalidade e, mesmo com os possíveis erros de medidas os valores obtidos para a constante de proporcionalidade não fogem de uma margem de 6% em relação ao valor aceito.

No momento em que determinam a inclinação da reta, é incrível a forma como reagem ao constatarem o valor de "pi". Aliás não só alunos se espantam com o "pi" "concreto", diante deles. Os alunos do Colégio de Aplicação têm, na oitava série do primeiro grau a disciplina desenho, portanto eles já tiveram oportunidade de trabalhar com o "pi" e com a equação da circunferência. Em cursos de atualização para professores de Ciências e Matemática, temos verificado esse mesmo espanto. Mesmo já tendo trabalhado com a "equação da circunferência", a maioria deles jamais refletiu sobre o "pi". Ao questionarmos o por quê da admiração, tanto professores, quanto alunos atribuem a essa constante um caráter axiomático, "próprio da circunferência" e não construção humana que pode ser obtida pela simples relação construída através de ... fatias de cano de esgoto !

Um aspecto importante que deve ser enfatizado para que fique esclarecido que o "pi" também é uma construção humana e que o conhecimento é construído coletivamente é que, se invertermos a localização das grandezas nos eixos, conseguiríamos construir um modelo explicativo para o evento, mas

não o que é universalmente compartilhado. Em vez de obtermos aproximadamente o valor 3,14, obteríamos, para a constante de proporcionalidade, o valor 0,32.

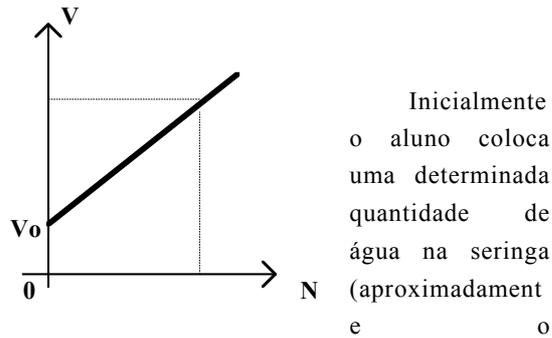
ATIVIDADE 5 - CHUMBINHOS

Material :

- Suporte universal ou similar (pode-se confeccionar um suporte de madeira, como o mostrado no esquema figura desta atividade, na página 137).
- Corpo de uma seringa descartável de 10 ml, na qual se cola uma tira de papel milimetrado.
- Arame ou cordão para prender o corpo da seringa ao suporte, de modo que o mesmo fique nivelado.
- Chumbinhos de caça.
- Água.

A atividade com os chumbinhos é realizada após os alunos já terem realizado outros exercícios, nos quais se utilizou, de várias formas, a proporcionalidade direta. Pois esta é a primeira atividade que será orientada para exemplificar uma Variação Linear, ou seja, uma função do 1º grau completa (do tipo $y = ax + b$). Neste caso, não ocorre a proporcionalidade direta, porém é necessário que o aluno já esteja familiarizado com a construção de gráficos, determinação da relação matemática e determinação da constante por meio da inclinação da reta. A importância desta atividade reside no fato dela proporcionar o rompimento com a proporcionalidade direta. Nesta atividade haverá a necessidade de reformulação da relação matemática, de modo que tenha a mesma forma lógica da proposição construída verbalmente.

Para obter as medidas solicitadas, utiliza-se chumbinhos de caça e uma seringa de 10 ml, que é fixada em um suporte de madeira para que fique nivelada. Como a escala de volume da seringa não permite leituras satisfatórias, cola-se uma papel milimetrado a ela. Desse modo, o aluno mede a altura da coluna de água por meio do papel milimetrado, para depois determinar o volume correspondente a cada altura. Note-se que aqui já se utiliza as noções de proporcionalidade direta para a determinação do volume correspondente à altura da coluna de água.



correspondente a uma altura de 2,0 cm) e registra este valor na tabela. Em seguida, vai acrescentando a quantidade de chumbinhos indicada e registrando a altura assumida pela coluna de água. Como a área interna da seringa é constante, ele completa a coluna "volume" da tabela fazendo a multiplicação de cada altura pela área da seringa. Assim, ele obtém o valor do volume que a água assume, à medida que as bolinhas são colocadas na seringa.

Ao construir o gráfico $V \times N$ o aluno terá diante de si um gráfico com o seguinte aspecto :

Deixa-se os alunos trabalharem sozinhos até o momento da validação/reformulação da "aposta". Ou seja, até o momento da comparação entre a formulação que ele fez sobre o evento (geralmente representada por uma relação do tipo : $V = a.N$) e os dados empíricos. Neste momento, fica evidente a necessidade da reformulação da "aposta" para que os valores calculados pela relação matemática, construída a partir da aposta, se aproximem dos dados empíricos. Assim, eles perceberão a necessidade de considerar o volume inicial da água para que a relação matemática satisfaça os dados tabela. Portanto, a relação matemática será do tipo : $V = a.N + V_0$.

Após esta atividade sistematiza-se o conteúdo referente à Variação Linear, ou seja, à função do primeiro grau completa. Nos exercícios de fixação sobre variação linear é interessante incluir um problema envolvendo o preço pago em uma "corrida" de táxi e a distância percorrida.

ATIVIDADE 6 - QUADRADOS

Material :

- Quadrados de papel cartão de lados 2,00 cm, 4,00 cm, 6,00 cm e 8,00 cm.

Para esta atividade utilizamos quadrados feitos de papel cartão com arestas de 2,00 cm, 4,00 cm, 6,00 cm e 8,00 cm. As arestas dos quadrados maiores correspondem a múltiplos inteiros do quadrado menor. Esta relação entre as arestas é necessária pelo fato de não realizarmos medidas. Se forem feitas medidas há a necessidade de inicialmente utilizarmos a "fórmula" da área do quadrado. O que não nos interessa, pois é justamente nela que se chega ao final da atividade. Por isso, os dados da tabela são obtidos pela comparação entre os lados dos quadrados maiores com o menor e as áreas dos quadrados maiores com a área do menor. (Vide página 139)

Esta atividade se inicia com a pergunta aos alunos : quantos "quadrados" são necessários para cobrir a área dos quadrados maiores. Para o quadrado cujo lado é o dobro do menor a resposta é correta : 4, mas para o quadrado que tem três vezes o lado do menor a resposta mais comum é : 6. Para o quadrado cujo lado é o quádruplo do menor as respostas mais comuns são 8 e 12. Solicita-se então que verifiquem por si mesmos. Ao completarem a tabela, alguns alunos se dão conta e dizem : "Ah, é um quadrado! A fórmula é A igual a "ele" ao quadrado."

Nesta atividade ocorre a ruptura com a proporcionalidade direta e com a linearidade. Ela é uma atividade crucial devido à descontinuidade ocorrida pelo fato de não mais se obter uma reta. Os alunos tentam a todo custo encontrar uma reta média que consiga servir de modelo aos pontos encontrados. Muito raramente um aluno propõe uma curva como idealização, embora já tenham visto equações do 2º grau e tenham decorado as fórmulas da área de um quadrado e de um disco. Essa descontinuidade já é esperada por nós. Além das pesquisas citadas no capítulo 3 sobre proporcionalidades, temos percebido que os alunos persistem em utilizar suas noções de proporcionalidade direta em situações às quais elas não mais se aplicam, como no caso da comparação entre áreas de um disco. Outra constatação da persistência da noção de proporcionalidade direta é que eles apostam que a relação matemática será do tipo de uma proporção direta ($Y = a.X$) ou do tipo de uma variação linear ($Y = aX + b$), mesmo quando mencionam a dita "fórmula do quadrado".

Essa atividade ainda proporciona a utilização de mecanismos indiretos para a obtenção da relação matemática. Nesse caso, utilizamos o processo de linearização e é por isso que solicita-se que eles completem a terceira coluna da tabela, elevando ao quadrado a primeira coluna. A representação algébrica do gráfico $A \times L^2$, que fornece uma reta que passa pela origem, permite ao aluno chegar à "fórmula" da área do quadrado. Como a constante obtida pela inclinação da reta, corresponde ao valor da constante de proporcionalidade e é igual à 1, chega-se a relação : $A = L^2$.

ATIVIDADE 7 - CUBOS

Material :

- Cubos de papel cartão, de lados 2,00 cm, 4,00 cm, 6,00, 8,00 cm e 10,00 cm.
- Bolinhas pequenas de isopor, usadas como enchimento de bonecos

Esta atividade se inicia de modo semelhante à dos quadrados, perguntando aos alunos quantas vezes será necessário encher o cubo menor para completar o que tem o dobro do lado etc (vide página 140). Embora conheçam a relação entre volume e lado de um cubo, e já tenham feito a atividade dos quadrados, os alunos não conseguem responder corretamente. Para o cubo com o dobro do lado, geralmente dizem 4 ou 6 vezes. Alguns se apercebem, utilizam a "fórmula" e começam a dar as respostas corretas. Outros só se apercebem depois deles mesmos encherem, pelo menos, dois dos cubos maiores.

Esta atividade, embora trabalhe outro tipo de proporcionalidade, após completada a tabela, é considerada fácil pelos alunos. Geralmente eles constroem o modelo rapidamente, sem nem mesmo realizar todas as comparações entre os volumes e dispensam o processo de linearização para a determinação da constante. Eles já realizam as abstrações por analogia com os quadrados.

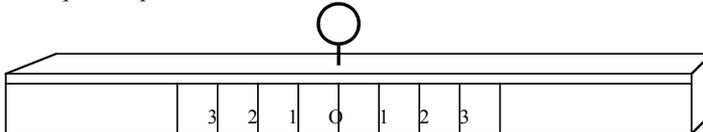
Atividade mais fácil devido aos quadrados, interessa aqui discutir a grandeza volume, que é pouco compreendida pelos alunos. Especialmente as transformações de unidade de litros para centímetros cúbicos. A relação entre

litro (l) e centímetro cúbico (cm^3) pode ser demonstrada aos alunos utilizando cubo maior (10,00 cm de aresta). Para isso, compara-se a quantidade de bolinhas de isopor que cabe neste cubo e a que cabe em um béquer de um litro. Desse modo eles "conseguem ver" que $1l = 1 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ cm}^3$.

ATIVIDADE 8 - ALAVANCAS

Material :

- Suporte universal ou similar, de madeira.
- 8 porcas iguais, de tamanho aproximado das utilizadas em pés de geladeira
- Alavanca (pedaço de madeira com as seguintes dimensões (sugestão) : 32,0 cm x 1,0 cm x 1,0 cm. Numa face fixa-se, no centro, um pitão. Em uma das faces adjacentes àquela em que foi fixado o pitão cola-se uma tira de 32,0 cm de papel milimetrado, de tal modo que uma de suas linhas fortes coincida com o centro do pitão, como mostra a figura abaixo. Isto se faz necessário porque é a partir deste ponto que se medirá as distâncias solicitadas na atividade.



A atividade Alavancas, situada na página 141, tem por objetivo colocar o aluno em uma situação prática, na qual ele vai utilizar o modelo matemático da proporcionalidade inversa. Esta situação não é de todo desconhecida dos alunos, pois a maioria deles já brincou de gangorra. Portanto, eles tem conhecimentos prévios a respeito de situações de equilíbrio e desequilíbrio. Certamente, muitos deles já estiveram em situação na qual duas crianças menores sentavam de um lado da gangorra, enquanto que do outro sentava uma criança maior. Para que uma criança maior consiga brincar com uma menor, é necessário que a criança maior fique sentada mais próxima do ponto de apoio.

À medida que é solicitado o acréscimo de porquinhas em um dos braços da alavanca, haverá a necessidade de deslocar esta pilha de porquinhas para que a alavanca continue em equilíbrio. Assim, o aumento no número de porquinhas acarreta na redução da distância delas ao ponto de apoio. O produto

entre o número de porquinhas e a distância permanece praticamente constante.
Logo : $N \cdot d = a$ ou $d = a/N$

A importância desta atividade reside no fato dela oportunizar que o aluno trabalhe em uma situação na qual ocorre o decréscimo de uma grandeza quando a outra cresce. Até então, as atividades experimentais realizadas tratavam de eventos em que, quando uma das grandezas aumentava a outra também aumentava. Portanto, este é mais um momento que pode oportunizar o rompimento com as noções intuitivas de proporcionalidade. Até esse momento, geralmente a única oportunidade em que o aluno se deparou com a situação acréscimo/decrécimo foi quando trabalhou com problemas modelo de Matemática, por exemplo, numa função de 1º grau do tipo : $Y = 40 - 5X$, para X e Y maiores que zero.

ATIVIDADE DE DESAFIO : MOLAS

Esta atividade é proposta aos alunos como desafio. Como pode ser observado na página 143, não há esquema prévio para a obtenção dos dados. Para resolvê-la eles tem que se valer dos conhecimentos construídos anteriormente e utilizar dos procedimentos que foram adotados nas demais atividades. Além disso ela propicia, posteriormente, a introdução de conceitos e conteúdos físicos, tais como força, lei de Hooke, referencial etc, que servirão de ponto de partida, no momento em que estes conteúdos forem sistematizados .

Considerações finais

Em todas as atividades procura-se proporcionar ao aluno a oportunidade de construir um modelo explicativo para cada evento. Para tal, utiliza-se de uma série de procedimentos, dentre eles, a medida de grandezas. É necessário deixar bem claro que, embora este seja um dos procedimentos da construção do conhecimento científico, ele não é único. Mais importante ainda é salientar que este trabalho, que pretende proporcionar a construção do conhecimento pelo aluno em uma situação de sala de aula, é uma reconstrução do ponto de vista do conhecimento humano. Muitas pessoas contribuíram para

que estes conhecimentos se sistematizassem da forma como hoje se apresentam. Em muitos casos, muitos anos se passaram para que isso ocorresse. No caso dos procedimentos utilizados nas atividades experimentais é necessário esclarecer que um conhecimento só adquire status de conhecimento científico após ser exaustivamente discutido e testado. Portanto, a nível de conhecimento científico, não é com uma quantidade discreta de dados, obtidos de uma só atividade experimental, que se pode construir um modelo explicativo para um evento.

Como mencionamos no início deste capítulo, os procedimentos descritos não se constituem em grandes novidades. É a seqüência que se recomenda, somada às discussões que destacamos que devam ser provocadas, que se constituem na tônica da proposta. Contemplando estes aspectos, acreditamos que se esteja promovendo os atos de entendimento propostos por Sierpiska (1992), proporcionando a oportunidade dos estudantes se apropriarem do caráter estruturador que funções desempenham no conhecimento físico. A mudança de atitude está na inversão do modo como os alunos entram em contato com o conteúdo. No caso de nossa proposta, isto é promovido a partir de uma situação-problema, próxima a sua realidade.

Nas páginas seguintes apresentamos a proposta dos guias de atividades a serem utilizados pelos alunos. Como introdução colocamos uma apresentação esclarecendo alguns termos/procedimentos, comuns às atividades.

UNIDADE DE ENSINO : INICIAÇÃO À CIÊNCIAS
GUIA DAS ATIVIDADES
APRESENTAÇÃO

As atividades propostas se constituem de uma seqüência didática para ser utilizada pelos alunos da 1ª série de 2º grau. Existem termos/procedimentos comuns na maioria das atividades como :

1 - Título - Geralmente é constituído por um dos elementos ou equipamentos que faz parte da atividade e que é um elemento de ligação com o conhecimento do aluno. O título apenas chama a atenção para o trabalho, não transmite ao aluno qualquer informação a respeito do conteúdo formal da Física ou Matemática.

2 - Como proceder - Fornece orientações das ações a serem praticadas pelos alunos para realizarem as atividades.

3 - Aposta - Neste item, o aluno deverá formular uma "pré-teoria" ou "hipótese" com base em suas expectativas teóricas, na observação dirigida e/ ou dos dados. À medida que vão se desenrolando as atividades, solicita-se ao aluno mais sofisticação na aposta, de modo que ele as formule através de uma expressão algébrica, que represente a relação de causa e efeito observado, isto é, que ele formule um modelo analítico para o evento em estudo. Com este passo se pretende fazer o aluno compreender que a construção de um conhecimento novo é feito a partir do que já conhecemos, que é com base nele que re/formulamos o novo. A aposta obviamente não precisa estar correta e é importante que haja discussão, tanto quando a aposta for correta, quanto quando é refutada.

4 - Análise dos dados - Por meio da construção do gráfico é que se realiza a análise dos dados para se chegar ao modelo analítico relativo ao evento estudado. Cabe deixar claro aos alunos que esta não é a única forma de análise de dados. Também é bom esclarecer que os procedimentos aqui utilizados não se constituem num conjunto único que é utilizado para a construção/validação do conhecimento.

5 - Conclusão - Ao final da atividade o aluno deverá fazer um pequeno relato conclusivo sobre a atividade, no qual deverá incluir as respostas às questões formuladas neste item. É por meio da conclusão que o conhecimento, que se

pretende que o aluno construa, é sistematizado, compartilhado em uma linguagem formal, aceita por todos.

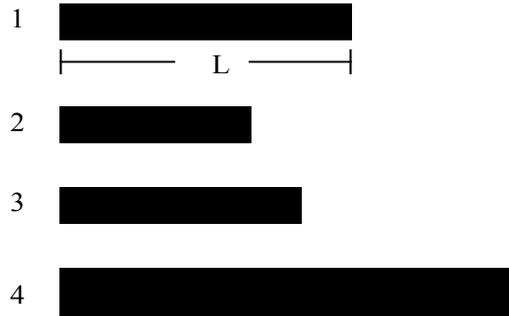
Nas primeiras atividades o próprio roteiro fornece o objetivo. Nas seguintes passa-se a solicitar que o aluno descreva o evento, isto é, que descreva para onde foi dirigida a observação e indique quais grandezas estão relacionadas entre si. Outra forma de iniciar a atividade é apresentar um problema a ser resolvido.

ATIVIDADE 1 : ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

OBJETIVO : Medir o comprimento de tiras de papel com régua decimetrada, centimetrada e milimetrada e expressar, em centímetros, cada uma das medidas com o número adequado de algarismos significativos.

COMO PROCEDER :

- 1) Colar quatro tiras de papel de comprimentos diferentes e numerá-las.
- 2) Para cada uma das tiras medir o lado L, preenchendo o quadro a seguir



Tira	Régua Decimetrada	Régua Centimetrada	Régua Milimetrada
1			
2			
3			
4			

CONCLUSÃO :

Questões :

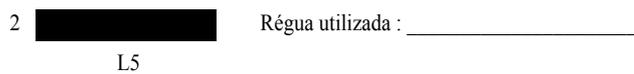
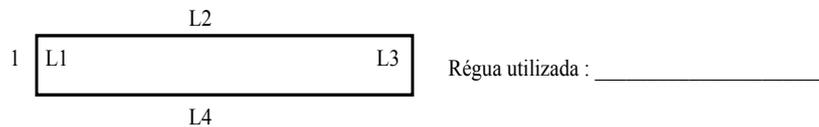
- a) Qual das régua fornece maior precisão nas medidas? Por que ?
- b) Todos os algarismos que você escreveu são significativos ?
- c) Escreva o que você entende por algarismos significativos de uma medida.

ATIVIDADE 2 : OPERAÇÕES COM ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

OBJETIVO : Realizar operações com algarismos significativos, a partir da medida do comprimento de tiras de papel, em centímetros, com régua da escolha do estudante.

COMO PROCEDER :

- 1) Colar dois retângulos de papel cartão de tamanhos diferentes e numerá-los.
- 2) Para o retângulo 1, atribuir um símbolo a cada um de seus lados.(Por exemplo : L_1 , L_2 , L_3 e L_4)
- 3) Para o retângulo 2, atribuir um símbolo apenas para um de seus lados maiores (Por exemplo : L_5)
- 4) Escolher, dentre as régua decimetrada, centimetrada e milimetrada, duas delas para realizar a medida dos lados dos retângulos. Utilize uma régua para cada retângulo.
- 5) Expressar com algarismos significativos as medidas solicitadas.



Lado	comprimento(cm)
L_1	
L_2	
L_3	
L_4	
L_5	

6) Realizar as seguintes operações, de modo que os resultados contenham apenas algarismos significativos.

a) $L_1 + L_2 + L_3 + L_4 =$ _____

b) $L_2 + L_5 =$ _____

c) $L_1 \times L_2 =$ _____

d) Como se chama a grandeza obtida por meio do produto realizado no item c)?

CONCLUSÃO :

Questões :

- a) Como se deve proceder para que o resultado da adição de medidas contenha apenas algarismos significativos ? Como são as regras de arredondamento ?
- b) Quais os procedimentos necessários para expressar corretamente produto de medidas, de modo a não deixar dúvidas quanto aos algarismos significativos ?

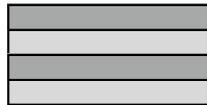
ATIVIDADE 3 - DOMINÓS

OBJETIVO : Determinar a relação existente entre o número de peças de dominós empilhados (N) e a altura da pilha (h)

APOSTA:

COMO PROCEDER :

1) Empilhar os dominós, com sua parte mais larga sobre a mesa, de acordo com as quantidades estipuladas na tabela a seguir.



2) Preencher a tabela com o valor da altura correspondente ao número de peças solicitado. Para realizar as medidas utilize uma fita de papel milimetrado.

Obs. : Não esqueça dos algarismos significativos

Nº de peças N (peças)	altura h (cm)
2	
4	
5	
6	
7	
9	

ANÁLISE DOS DADOS :

- Construir o gráfico h x N.
- Verificar a distribuição dos pontos.
- Traçar a melhor "curva".
- Determinar a inclinação da reta, ou seja o valor da tangente. (Escolher dois pontos sobre ela, efetuar a diferença entre esses pontos em cada eixo, etc) e compare-a com as de seus colegas.

CONCLUSÃO :

Questões :

- a) Escreva com suas palavras o modelo que você construiu para o comportamento da altura da pilha em relação ao número de peças empilhadas.
- b) Expresse em linguagem simbólica o que você escreveu no item a)
- c) Para esta atividade, o que significa a inclinação da reta ?
- d) Se empilhássemos caixas de fósforos obteríamos o mesmo valor para a inclinação ?
- e) Quais as condições que devem ser estabelecidas para que se possa fazer alguma generalização sobre os resultados desta atividade ?
- f) Como é a expressão algébrica que representa a relação entre h e N para o seu gráfico ? e para os gráficos de seus colegas ? Qual a diferença entre eles ?
- g) Com os procedimentos aqui utilizados, seria possível determinar a espessura de uma página do livro de Física ? Em caso afirmativo, como você procederia ?
- h) Cite exemplos de eventos em que você acha que podem ser representados da mesma maneira que o dominó.

EXERCÍCIOS :

- 1) Através do gráfico determine :
 - a) a altura da pilha de 3,5 dominós.
 - b) Quantos dominós são necessários para que uma pilha tenha 9,5 cm ?
- 2) Usando a expressão algébrica obtida através de seu gráfico, determine a altura de uma pilha de 1322 dominós.

ATIVIDADE 4 : PVC

OBJETIVO : Determinar a dependência entre o comprimento da circunferência externa (C) (o mesmo que perímetro) e o diâmetro externo (d) de fatias de PVC.

COMO PROCEDER :

1) Observar as peças e verificar o que ocorre com o perímetro da fatia de PVC quando o diâmetro aumenta.

APOSTA :

2) Realizar as medidas de diâmetro e comprimento externo de cada fatia e preencher a tabela.

Obs. : Não esqueça dos algarismos significativos

diâmetro d(cm)	comprimento C(cm)

ANÁLISE DOS DADOS :

- Construir o gráfico C x d.
- Verificar a distribuição dos pontos.
- Traçar a melhor "curva".
- Determinar a inclinação da reta. (Escolher dois pontos sobre ela, efetuar a diferença entre esses pontos em cada eixo, etc)
- Determinar a constante de proporcionalidade.

CONCLUSÃO :

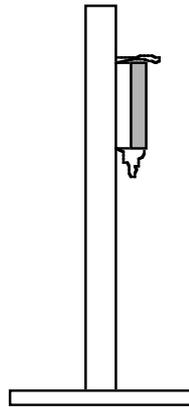
Questões :

- a) O que se pode dizer da relação existente entre C e d ? Por que?
- b) Para esta atividade o que significa a constante de proporcionalidade ?
- c) É possível generalizar esta atividade ?
- d) Como é a expressão algébrica que representa a relação entre C e d para o seu gráfico ? e para os gráficos de seus colegas ? Qual a diferença entre eles ?
- e) Você teve a disciplina Desenho, na 8ª série, e nela você estudou que o diâmetro de uma circunferência é igual a duas vezes o raio, ou seja $d = 2.R$, então como você poderia escrever a expressão algébrica que relaciona o comprimento (C) e o raio (R) de uma circunferência ?

ATIVIDADE 5 - CHUMBINHOS**O PROBLEMA :**

Temos um conjunto de bolinhas de chumbo que, quando colocadas em uma seringa com água, modificam a altura da coluna de água.

Considerando que a altura da coluna de água corresponde ao acréscimo do volume no interior da seringa, pela colocação de bolinhas de chumbo, será que existe alguma relação entre o número de bolinhas colocadas no recipiente e o volume da água lido ?



GRANDEZAS : N° de bolinhas - N(bolinha) e Volume - V(cm³)

Altura h(cm) Volume (cm³) $V = A \cdot h$

Dado : A(área da seringa) = 1,54 cm²

APOSTA : (apresentá-la também através de uma expressão algébrica)

COMO PROCEDER :

- 1) Colocar água na seringa até atingir a altura de 2,0 cm.
- 2) Adicionar o número de bolinhas solicitado na tabela, registrando a altura medida em cada caso.

Nº de bolinhas N(bolinha)	altura h(cm)	Volume V(cm ³)
0		
40		
80		
120		
160		
200		

ANÁLISE DOS DADOS :

- Construir o gráfico V x N
- Determinar a inclinação
- Escrever a expressão algébrica

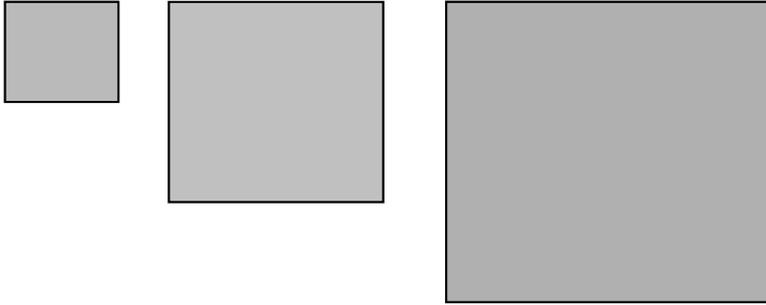
CONCLUSÃO

Questões :

- Por que utilizamos a seringa com água ?
- A idealização construída sobre o comportamento do volume de água nesta atividade é semelhante às construídas nas atividades anteriores ? O que a diferencia das outras ?
- Expresse com suas palavras o modelo explicativo que você construiu sobre o comportamento do volume de água.
- A expressão algébrica, construída a partir do gráfico, corresponde às expectativas de sua aposta ?
- Para esta atividade, qual o significado da inclinação do gráfico ?
- Com os equipamentos disponíveis para desenvolver esta atividade seria possível determinar o volume assumido pela água quando fossem colocados 800 bolinhas ?
- Cite os limites práticos de validade dessa atividade.
- O modelo explicativo construído sobre este evento apresenta algum limite de validade ?

EXERCÍCIOS :

- Qual será o volume de um cubo de chumbo, para o qual foram derretidas 20 bolinhas ?
- Determine o volume que será lido na seringa, supondo que colocássemos no seu interior : a) 5 bolinhas b) 220 bolinhas c) 540 bolinhas

ATIVIDADE 6 : QUADRADOS**EVENTO :** _____**APOSTA :**

_____**COMO PROCEDER :**

- 1) Tome um dos quadrados de menor tamanho e verifique quantos deles são necessários para cobrir a superfície de cada um dos quadrados maiores.
- 2) Chamando de l o lado do quadrado menor e de a a sua área, complete a tabela a seguir.

	Lado (L)	Área (A)	L^2
1	l	a	
2			
3			
4			

ANÁLISE DOS DADOS :

- a) Construir o gráfico A x L.
- b) É possível determinar a inclinação da curva obtida ?
- c) Construir o gráfico A x L^2

CONCLUSÃO :

- a) A construção do gráfico A x L permitiu confirmar a sua aposta?
- b) Qual o valor da inclinação da reta obtida no gráfico A x L^2 ?
- c) Então, qual a expressão algébrica que relaciona A e L ?
- d) Que diferenças existem entre a relação entre grandezas, vista hoje, comparada com as relações construídas anteriormente ?

ATIVIDADE 7 : CUBOS**COMO PROCEDER :**

1) Tome o cubo de menor tamanho (lado l e volume v) e verifique quantas vezes você precisa enchê-lo com bolinhas de isopor para preencher cada um dos cubos maiores.

2) Complete a tabela a seguir

	Lado (L)	Volume (V)	
1	l	v	
2			
3			
4			

APOSTA :

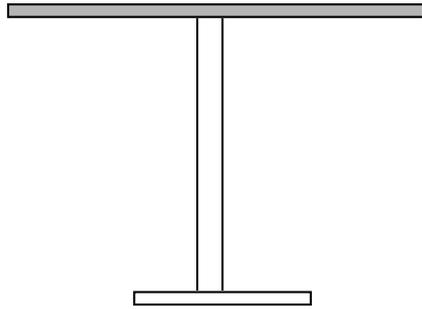
ANÁLISE DOS DADOS :

- Construir o gráfico $V \times L$.
- É possível determinar a inclinação da curva obtida ?
- Construir o gráfico $A \times L^3$ (Processo de linearização - caso você ache necessário)

CONCLUSÃO :

Questões :

- Que tipo de relação existe entre V e L ?
- A construção do gráfico $V \times L$ permitiu confirmar a sua aposta ? justifique.
- Qual o valor da inclinação da reta obtida no gráfico $V \times L^3$?
- Então, qual a expressão algébrica que relaciona V e L ?
- A expressão obtida para cálculo do volume de um cubo vale para qualquer recipiente ?

ATIVIDADE 8 : ALAVANCAS**EVENTO :**

GRANDEZAS :

APOSTA :

COMO PROCEDER :

- 1) Equilibrar a alavanca, deixando-a. Caso necessário, enrole um pedaço de fio de telefone, fixando-o no local em que obteve o equilíbrio.
- 2) Segurar a alavanca e colocar, à mesma distância do ponto de apoio (parafuso), uma porquinha de cada lado da alavanca. Anotar esta distância na primeira linha da tabela a seguir.
- 3) Mantendo uma das porquinhas fixas, isto é, sem sair do lugar, verifique a que distância deverão ser colocadas duas porquinhas, uma sobre a outra, para que a alavanca continue em equilíbrio. Isso significa que um dos lados da tabela não se alterará, pois uma das porquinhas não será deslocada.
- 4) Lembrando que as porquinhas devem ser colocadas uma sobre as outras, complete a tabela a seguir, determinando a que distância o conjunto de porquinhas deve ser colocado para que a alavanca permaneça em equilíbrio.

N.d	N	d(cm)	N*	*d(cm)	N*.*d
	1		1		
	1		2		
	1		3		
	1		4		
	1		5		
	1		6		
	1		7		

* - Dados do lado direito da alavanca

APOSTA :

ANÁLISE DOS DADOS :

- Construir o gráfico $N^* \times *d$
- Verificar a distribuição dos pontos
- Traçar a melhor curva

CONCLUSÃO :

Questões :

- É possível determinar a inclinação deste gráfico ? Por que ?
- O que você sugere para obtê-la ?
- Qual a forma da expressão algébrica que representa as grandezas envolvidas ?
- Cite exemplos de situações em que você observa grandezas com comportamento semelhante ao verificado nesta atividade.

ATIVIDADE DE DESAFIO : MOLAS

Dados : uma mola, um conjunto de 10 porquinhas iguais, um copinho com alça e uma base universal, elaborar uma atividade experimental, descrevendo todos os procedimentos necessários, de modo a se chegar a um modelo teórico sobre o comportamento de uma mola quando é deformada (esticada).

CONCLUSÃO

Ao buscarmos referências e soluções para as dificuldades que os alunos apresentam ao iniciar a primeira série do segundo grau, concluímos que o ensino de Física, além de desconsiderar o contexto e o processo de construção do conhecimento científico, em particular do conhecimento físico, na maioria das vezes também não leva em conta algumas condições que consideramos essenciais para a sua construção.

Em nosso trabalho apontamos que algumas dessas condições são : a consideração à complexidade do conhecimento científico; a compreensão da dimensão coletiva e, a compreensão dos modelos matemáticos como elementos estruturadores na construção desse conhecimento. O resultado de um processo de ensino, no qual essas questões não são levadas em consideração é uma aprendizagem questionável, do ponto de vista da construção do conhecimento pelo aluno, além do inegável fracasso no rendimento escolar.

O problema discutido neste trabalho teve suas origens na sala de aula. Localizado na interface Física/Matemática nos perguntamos : como pretender que o aluno construa o conhecimento físico, se ele é estruturado por modelos matemáticos e os alunos não tem conhecimento destes últimos ? Quando fomos nos colocar a par do que havia de escrito na bibliografia, deparamo-nos com dificuldades, as quais não tínhamos idéia da profunda complexidade. O que nos parecia um simples problema relacionado com a vinculação Física/Matemática e que poderia ser facilmente superado, tornou-se um grande problema. O problema se situava na interface entre esses dois conhecimentos, porém cada um deles com suas peculiaridades e complexidades distintas, complexidades estas que resultavam em dificuldades de aprendizagem. E então, o que restava a fazer? Parar nas reflexões e constatações das dificuldades e suas causas? Recolher a proposta de seqüência didática que vinha delineando a partir das dificuldades apresentadas pelos alunos e ficar apenas no nível das reflexões? E a sala de aula, como ficaria? Ignoraria a existência do problema? Alguém ainda pode questionar : Será que existe a necessidade de uma seqüência didática preparatória para desenvolver o conteúdo referente a construção de modelos matemáticos? Será que não é suficiente o processo de modelização ocorrido durante a abordagem dos conteúdos de Física?

Nos parece ainda mais claro que não se pode minimizar a importância da linguagem formal da Ciência, ou colocá-la em segundo plano. Nessa perspectiva, se faz necessário oferecer ao educando oportunidades de trabalhar com essa dimensão do conhecimento, em sua dimensão conceitual, de resolução de problemas e em sua dimensão empírica. Devemos proporcionar ao estudante oportunidades de adquirir o domínio de modelos matemáticos, de modo que possa verificar que, por meio deles, é possível resolver problemas práticos e expressar regularidades e transformações, mudanças e permanências entre grandezas físicas.

Acreditamos que a unidade de ensino proposta, na qual a modelização de variáveis se dá por meio de atividades experimentais, contempla os aspectos discutidos ao longo do trabalho e que consideramos importantes para a incorporação de elementos necessários à construção do conhecimento, relativo aos conteúdos de Física. Além disso, ela propicia o desenvolvimento do conteúdo referente às noções de funções na seqüência em que foi historicamente construída : problema/motivação formulação de hipóteses validação das hipóteses enunciado. Sabemos que, na maioria das vezes, o ensino deste conteúdo segue a ordem inversa, ou seja enunciadodemonstraçãoaplicação.

Bem, admitimos que hoje, dada a variedade de elementos presentes nesse universo de dificuldades, estamos receosos de que nossa proposta seja inócua e possa até contribuir para a manutenção de determinadas dificuldades dos alunos, para as quais não dedicamos a necessária atenção. Apesar destas dúvidas e questionamentos, colocamos nossa proposta em discussão, porque acreditamos que o problema levantado, não só deve ser discutido, como achamos que ele precisa de solução que se converta em mudança na sala de aula.

É bom salientar que este trabalho teve por objetivo contribuir com uma reflexão epistemológica sobre uma das dificuldades surgidas no processo de ensino-aprendizagem devido à necessidade da compreensão de modelos, pelo fato deles fazerem parte da estrutura complexa do conhecimento físico. Dessa maneira a unidade de ensino proposta tem o objetivo de tentar minimizar essas dificuldades.

Não cremos que nossa proposta seja garantia de pleno êxito no que se refere às dificuldades mencionadas, pois sabemos que uma grande variedade de fatores interfere no processo de ensino-aprendizagem. Muitos destes, vinculados ao aspecto individual das experiências pessoais, como a afetividade, as preferências, as aptidões, às vezes assumem dimensões gigantescas.

O caráter pedagógico das atividades experimentais de nossa proposta é o de possibilitar ao aluno utilizar de suas experiências pessoais e de seus conhecimentos de Matemática para construir um modelo explicativo sobre um evento, de modo a que esse modelo se aproxime, o máximo possível, dos modelos aceitos cientificamente. Isso implica em que esta construção seja norteada por procedimentos estabelecidos coletivamente. Dessa forma, procura-se aproximar a "Ciência dos alunos" da "Ciência dos Cientistas".

Procuramos respostas a um problema com que nos defrontamos dentro do "paradigma" de ensino vigente, no qual modificações no que e como é ensinado não são bem recebidas, tendo em vista o interesse na manutenção de uma certa uniformidade entre as escolas, quanto aos conteúdos ministrados e às exigências de conteúdo do vestibular. Certamente nossa proposta não teria sentido em contextos diferentes, ou seja, em contextos nos quais os conteúdos e as formas de abordagens desses conteúdos fossem outras, que não as atualmente praticadas nas escolas, particularmente na escola em que trabalhamos.

Não pretendemos apresentar uma receita salvadora para que os alunos aprendam a construir modelos explicativos próximos dos cientificamente aceitos. A proposta tem o objetivo de iniciar a aprendizagem de um modo de pensamento. E não se encerra nela mesma. Como diz Bachelard, trabalhar numa perspectiva construtivista não cabe em um texto, roteiro ou manual. O que ocorre na sala de aula depende, como coloca Driver, do papel essencialmente ativo de quem aprende. Não podemos prever todas as falas, todas as dúvidas e conclusões dos alunos. E é a partir das suas colocações que se vai contribuir para a construção do conhecimento dos alunos. Por exemplo, durante este ano letivo, quando discutíamos sobre os limites de validade do modelo construído para os dominós, um aluno se negou a aceitar que 0,80 cm/peça era a altura média dos dominós. Para ele essa era a altura de todos os dominós utilizados. Se alguém não havia encontrado esse valor é porque tinha errado nas medidas. Para ele a verdade estava no objeto. Com esta afirmação o aluno comunicou sua concepção de Ciência. Essa atitude do estudante permitiu discussões

interessantes que não haviam sido previstas. Talvez da próxima vez não seja este o motivo que desencadeará as discussões e o norte das atividades seguintes, mas certamente a intervenção desse aluno nos apontou a necessidade de sermos cada vez mais cuidadosos na comunicação das "verdades" da Ciência.

Mais que uma seqüência didática preparatória para o ensino de Física, a proposta pretende chamar a atenção dos professores, para que tenham uma atitude de prestar atenção. Prestar atenção ao que o aluno pensa e, ao mesmo tempo, prestar atenção ao que ele, professor, pensa e comunica. Ela tem a intenção de facilitar um caminho por entre as pedras.

Assim, a unidade de ensino foi apresentada como uma colaboração a reflexões e discussões para a solução dos problemas levantados neste trabalho, não como "a salvação" dos problemas apresentados. Por esse motivo, embora já tenhamos utilizado esta seqüência didática em situações de sala de aula, não apresentamos como um experimento controlado que deu certo. Temos consciência de que, em toda atividade didática, o papel do professor é de fundamental importância na condução dos trabalhos. Assim, o que em determinado contexto pode resultar em êxito, em outro pode se tornar um fracasso.

Por isso terminamos este trabalho lembrando o que comentamos no primeiro capítulo. Um bom tempo de nossa vida escolar já havia se passado, até a compreensão de que o conhecimento físico é estruturado por meio de modelos. E já havíamos ministrado "muitas aulas empiristas", até nos termos dado conta de nossa concepção de Ciência e da influência dela junto aos alunos. E quantas escorregadas ainda daremos ? Por isso não criticamos os professores que ainda não tenham se apercebido de tais questões. Consideramo-nos privilegiados pelo local onde estudamos e onde trabalhamos, pois certamente não teríamos também "descoberto um caminho por entre as pedras", se não tivéssemos tido a oportunidade de discutir, refletir e aprender com as pessoas com as quais convivemos.

BIBLIOGRAFIA

. AGUIRRE, J. & ERICKSON, G. Students' conceptions about the vector characteristics of three physics concepts. Journal of Res. in Sci. Teaching, 21 (5), 439-457, 1984.

- . ANGOTTI, J. A. P. Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências. Tese. USP. São Paulo, 1991.
- . ASTOLFI, J. P. & DEVELAY, M. A didática das ciências. São Paulo : Papyrus, 1995.
- . AUSUBEL, D. P. et al. Educational psychology : a cognitive view. New York : Holt, Rinehart and Winston, 1978.
- . BACHELARD, G. A filosofia do não; O novo espírito científico; A poética do espaço. In : Os pensadores. São Paulo : Abril Cultural, 1978.
- . BACHELARD, G. Epistemologia : Trechos escolhidos. Rio de Janeiro, Zahar, 1983.
- . BASSANEZI, R. A modelagem matemática. Dynamis, Blumenau, 1 (7), 55-83, abr/jun, 1994.
- . BECKER, F. A epistemologia do professor : o cotidiano da escola. Rio de Janeiro : Vozes, 1993.
- . BELL, B. F. & PEARSON, J. Better learning. Int. J. Sci. Educ., vol. 14 (3), 349-361, 1992.
- . BOHM, D. & PEAT, D. F. Ciência, ordem e criatividade. Lisboa : Gradiva, 1989.
- . BOHM, D. A totalidade e a ordem implicada. São Paulo : Cultrix, 1992.
- . BUNGE, M. Teoria e realidade. São Paulo : Perspectiva, 1974.
- . BURAK, D. Modelagem matemática : uma metodologia alternativa para o ensino de matemática na 5ª série. Dissertação de Mestrado. UNESP, Rio Claro, 1987.
- . CARRAHER, D. W. Proporcionalidade na educação científica e matemática : uma análise de três tarefas piagetianas. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos, 67(156), 367-379, 1986.
- . CARRAHER, D. W. Mathematics in and out of school : A selective review of studies from Brazil. M. Harris. London : The Falmer Press, 1991.
- . CARVALHO, A. M. P. A formação do conceito de quantidade de movimento e sua conservação. Tese de Livre Docência. Faculdade de Educação/USP, São Paulo, 1986.
- . CARVALHO, A. M. P. Física : proposta para um ensino construtivista. São Paulo : EPU, 1989.

- . CASTORINA, J. A. et al. La psicología genética y los procesos de aprendizaje. In : Psicología genética : aspectos metodológicos y implicaciones pedagógicas. Buenos Aires : Miño Dávila, 1984.
- . CASTORINA, J. A. Psicología genética : Aspectos metodológicos e implicações pedagógicas. Porto Alegre : Artes Médicas, 1988.
- . CHALMERS, A. F. O que é ciência, afinal ?. São Paulo : Brasiliense, 1993.
- . CHEVALLARD, Y. La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble : La Pensée Sauvage, 1985.
- . CHIAPETTA, E. L. A review of piagetian studies relevant to science instruction at the secondary and college level. Science Education, 60 (2) : 256-261, 1976.
- . CHIN, Y. K. Meaningful understanding of direct proportionality and consistency across different task among preservice science teachers. Int. J. Sci. Educ., vol. 14 (3), 237-247, 1992.
- . COLL, C. As contribuições da psicologia genética para a educação : teoria genética e aprendizagem escolar. In : Piaget e a Escola de Genebra. LEITE, L. B. & MEDEIROS, A. A. São Paulo : Cortez, 1987.
- . DELIZOICOV, D & ANGOTTI, J. A. P. Metodologia do ensino de ciências. São Paulo : Cortez, 1990.
- . DE PINHO, J. A. F. Licenciatura em Física da UFSC : Análise à luz do referencial de Eisner e Vallance, UFSC, Florianópolis, SC, 1990.
- . DE PINHO, J. A. F. Atividades Experimentais : Um instrumento de ensino. Texto mimeo. UFSC, Florianópolis, SC, 1987.
- . DE PINHO, J. A. F. Experimental activities : nature, scope and character. Caderno de resumos Int. Conf. "Science and Mathematics Education", Concepción, Chile, p. 75, 1994.
- . DE PINHO, J. A. F. What is experimental activity and its function ? Caderno de resumos Int. Conf. "Science and Mathematics Education", Concepción, Chile, p. 76, 1994.
- . DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B & RUEL, F. La formation à la enseignement des sciences : le virage épistemologique. Didaskalia, 1, 49-67, 1993.
- . DI SESSA, A. Unlearning aristotelian physics : a study of knowledge-based learning. Cognitive Science, 6, 37-75, 1982.

- . DOMINGUES, J. L. & DOMINGUES, M. H. M. S. O procedimento etnográfico na pesquisa educacional. Goiânia, 1988. (mimeo)
- . DRIVER, R. The pupil as scientist. Paper presented to the GIREP conference, Rehovot, Israel, 1979.
- . DRIVER, R. Pupils' alternative frameworks in science. European Journal of Science Education, 3, 1, 93-101, 1981.
- . DRIVER, R. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. Enseñanza de las Ciencias, 6(3), 291-296, 1988.
- . DRIVER, R. The representation of conceptual frameworks in young adolescent science students. Urbana : University of Illinois, 1973.
- . DRIVER, R., EASLEY, J. A. Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. Studies in Science Education, 5, 61-84, 1978.
- . DRIVER, R & ERICKSON, G. Theories-in-action : some theoretical and empirical issues in the study of student's conceptual frameworks in science. Studies in Science Education, 10, 37-60, 1983.
- . FLEMING, R. Undergraduate science students' views, on the relationship between science, technology and society. International Journal of Science Education, 10, 4, 449-463, 1988.
- . FRANCHI, R. H. O. L. Modelagem matemática como estratégia de aprendizagem do cálculo diferencial e integral nos cursos de engenharia. Dissertação de Mestrado. UNESP, Rio Claro, 1993.
- . FURTH, H & WACKS, H. Thinking goes to school : Piaget's theory in practice. New York : Oxford University Press, 1974.
- . GARCIA, R. El desarrollo del sistema cognitivo y la enseñanza de las ciencias. Educación, nº 42, Revista del Consejo Técnico de la Educación. México, 33-57, 1982.
- . GAZZETTA, M. Modelagem como estratégia de aprendizagem da matemática em curso de aperfeiçoamento de professores. Dissertação de Mestrado. UNESP, Rio Claro, 1988.
- . GIL, D. El profesorado y la investigación educativa. Primeras Jornadas de Investigación Didáctica en Física y Química, 537-540. (ICE : València), 1982.
- . GIL, D. Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. Enseñanza de las Ciencias, 1(1), 26-33, 1983.

- . GIL-PÉREZ, D. Differences entre "modeles spontanés", modeles enseignes et modeles scientifiques : quelques implications didactiques. A. Giordan, J. L. Martinand, Actes JES, 9, 1987.
- . GIL, D. Contribución de la historia y filosofía de las ciencias ao desarrollo de um modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. Enseñanza de las Ciencias, 11(2), 197-212, 1993.
- . GIL-PÉREZ, D. Diez años de investigación en didáctica de las ciencias : realizaciones y perspectivas. Enseñanza de las Ciencias, 12(2), 154-164, 1994.
- . GILBERT, J. K. The Cognitive-Development Research Seminar. Science and Mathematics Education (University of Leeds, 17-21, September 1979) : A personal appreciation. Journal of Research in Science Teaching, 2, 191-193, 1980.
- . GILBERT, J. K. The role of models and modelling in science education. Paper presented at the Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta, 1-11, 1993.
- . GILBERT, J. K. & ZYLBERSTAJN, A. A conceptual framework for science education: The case study of force and movement. European Journal of Science Education, 7, 107-120, 1985.
- . GILBERT, J. K., OSBORNE, R. & FENSHAM, P. J. Children's science and its consequences for teaching. Science Education, 66, 4, 623-633, 1982.
- . GILBERT, J. K., OSBORNE, R. Identifying science students' concepts: The Interview-About-Instance Approach. *In: Archenhold, W. F., Driver, R., Orton, A., Wood-Robinson, C.: Cognitive development research in science and mathematics. Proceedings of an international seminar. Leeds : University of Leeds, 244-261, 1980.
- . GILBERT, J. K., SWIFT, D. J. Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs. Science Education, 69, 681-696, 1985.
- . GIORDAN, A. Representaciones sobre la utilización didáctica de las representaciones. Enseñanza de las Ciencias, 7 (1) 53-62, 1989.
- . HESSEN, J. Teoria do conhecimento. 4 ed. Coimbra : Arménio Amado, 1968.
- . HODSON, D. Philosophy of science, science and science education. Studies in Science Education, 12, 25-57, 1985.
- . KNELLER, G. A ciência como atividade humana. Rio de Janeiro : Zahar; São Paulo, EDUSP, 1980.
- . KOYRÉ, A. Estudos galilaicos. Lisboa : Publicações Dom Quixote, 1986.

- . KRASILCHIK, M. O professor e o currículo das ciências. São Paulo : EPU/EDUSP, 1987.
- . KUHN, T. S. A função do dogma na investigação científica. In : A crítica da ciência. DEUS, J. D (Org.). Rio de Janeiro : Zahar, 1974, p. 53-80.
- . KUHN, T. S. A Estrutura das revoluções científicas. S. Paulo : Perspectiva, 1995.
- . LABURU, C. E. Desenvolvimento e aprendizagem do conceito de aceleração em adolescentes. Dissertação de Mestrado. IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1987.
- . LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. (orgs.) A crítica e o desenvolvimento do conhecimento. São Paulo : Cultrix, 1979.
- . LEDBETTER, C. E. Qualitative comparison of students' constructions of science. In : Science education, 77(6):611-624, 1993.
- . LÜDKE, M. & ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em Educação: Abordagens qualitativas. São Paulo : EPU, 1986.
- . MAGALHÃES, V.P. A resolução de problemas de proporção e sua transferência entre diferentes conteúdos. Dissertação de Mestrado. Depto de Psicologia, UFPE, Recife, 1990.
- . MEIRA, L. Aprendizagem e ensino de funções. In : Estudos em psicologia da educação matemática. Recife : Editora da UFPE, 1993.
- . MILLAR, R. & DRIVER, R. Beyond processes. Studies in Science Education, 14, 33-62, 1987.
- . MIZUKAMI, M. G. N. Ensino : As Abordagens do processo. São Paulo : EPU, 1986.
- . MONTEIRO, A. O ensino da matemática para adultos através da modelagem matemática. Dissertação de Mestrado. UNESP, Rio Claro, 1991.
- . MOREIRA, M. A. & AXT, R. (orgs). Tópicos em ensino de ciências. Porto Alegre : Ed. Sagra, 1991.
- . MOREIRA, M. A. & AXT, R. Referenciais para análise e planejamento de currículo em ensino de ciências. Ciência e Cultura, São Paulo, A.39, N.3, p. 250-258, mar. 1987.
- . MOREIRA, M. A. & NOVAK, D. P. Investigación en enseñanza de las ciencias en universidad de Cornell : esquemas teóricos, questiones y abordes metodológicos. Enseñanza de las Ciencias, 6 (1), 3-18, 1988.

- . NARDI, R. Campo de Força : subsídios históricos e psicogenéticos para a construção do ensino desse conceito. São Paulo : Faculdade de educação/USP, 1991.
- . NOVAK, J. D. The reception learning paradigm. J. Research in Science Teaching, 16, 481-488, 1979.
- . NOVAK, J. D. & GOWIN, B. Aprendiendo a aprender. Barcelona : M. Roca, 1989.
- . NUSSBAUM, J. Classroom conceptual change: The lesson to be learned from the history of science. In: Helm, H., Novak, J. D.: Proceedings of the International Seminar "Misconceptions in Science and Mathematics". Ithaca, N. Y.: Cornell University, 272-281, 1983.
- . NUSSBAUM, J. Classroom conceptual change : philosophical perspectives. In : Int. J. Sci. Educ., vol. 11, special issue, 530-540, 1989.
- . OSBORNE, R. Conceptual change - for pupils and teachers. Research in Science Education, 12, 25-31, 1982.
- . OSBORNE, R. & WITTRICK, M. Learning science : a generative process. Science Education, 67, 490-508, 1983.
- . OSBORNE, R. et al. Science teaching and children's views of de world. Eur. J. Sci. Educ., 5 (1), 1-14, 1983.
- . PAPERT, S. Logo : Computadores e educação. São Paulo : Brasiliense, 1986.
- . PARLETT, M. & HAMILTON, D. Avaliação Iluminativa: uma nova abordagem no estudo de programa inovadores. In : Avaliação de programas educacionais. GOLDBERG, M. A. A. & SOUZA, C. P., São Paulo : EPU, 1982, p.38-45.
- . PERRELI, M. A. S. A Transposição Didática no Campo da Indústria Cultural : Um estudo dos condicionantes dos conteúdos dos livros didáticos de ciências. UFSC. Florianópolis, SC, 1996.
- . PIAGET, J. & INHELDER, B. Da lógica da criança à lógica do adolescente. São Paulo : Pioneira, 1976.
- . PIAGET, J. & INHELDER, B. O desenvolvimento das quantidades físicas na criança. Rio de Janeiro : Zahar/INL, 1975.
- . PIAGET, J. & INHELDER, B. The growth of logical thinking from childhood to adolescence. New York : Basic Books, 1958.
- . PIAGET, J. & INHELDER, B. Gênese das estruturas lógicas elementares. Rio de Janeiro : Zahar/INL, 1975.

- . PIAGET, J. & GARCIA, R. Psicogênese e história das ciências. Lisboa : Publicações Dom Quixote, 1987.
- . PIAGET, J. Epistemologia genética. São Paulo : Martins Fontes, 1990.
- . PIETROCOLA-OLIVEIRA, M. A história e a epistemologia no ensino da física; aspectos individual e coletivo na construção do conhecimento científico, 1993.(mimeo)
- . POSNER, G. J. A model of conceptual change: Present status and prospect. In: Helm, H., Novak, J. D.: Proceedings of the International Seminar "Misconceptions in Science and Mathematics". Ithaca, N. Y.: Cornell University, 53-56, 1983.
- . POSNER, G. J., GERTZOG, W. A. The clinical interview and the measurement of conceptual change. Science Education, 66, 2, 195-209, 1982.
- . POSNER, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., Gertzog, W. A. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. Science Education, 66, 2, 211-227, 1982.
- . REICHENBACH, H. Experience and prediction. Chicago : UCP, Phoenix, 1961.
- . RIBEIRO, M. L. S. História da educação brasileira : a organização escolar. São Paulo : Moraes, 1986.
- . ROBILOTTA, M. R. O cinza, o preto e o branco - da relevância da história da ciência no ensino da física. Cad. Cat. Ens. Fis., Fpolis, 5 (NE) : 7-22, jun. 1988.
- . RONAN, C. A. História ilustrada da ciência. Universidade de Cambridge. São Paulo : Círculo do Livro, 1987.
- . SALÉM, S. Estruturas conceituais no ensino de física . Dissertação de Mestrado. IFUSP, São Paulo, 1986.
- . SALTIEL, E . & MALGRANGE, J.C. Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics. Eur. Phys., 1, 73-8, 1980.
- . SALTIEL, E. Kinematic concepts and natural reasoning: Study of comprehension of Galilean frames by science students. Doctoral Thesis, Department of Physics, University of Paris VII, France, 1978. Eur. J. Sci. Educ., 3(1), 110, 1981.
- . SALTIEL, E. De l'intérêt de la didactique de la physique et de l'histoire de la physique dans la formation des enseignants. Atas do Séminaire Nationale de la Société Française de Histoire des Science et Técnicas, 1990.

- . SALTIEL, E. & VIENNOT, L. Que aprendemos de las semejanzas entre las ideas historicas y el razoamiento espontaneo de los estudiantes ? Enseñanza de las ciencias, 137-144, 1985.
- . SCHLIEMANN, A.D. et al. Estudos em psicologia da educação matemática. Recife : Editora da UFPE, 1993.
- . SCHLIEMANN, A. D & CARRAHER, D. W. Proporcionalidade na educação científica e Matemática : uma análise de três tarefas piagetianas. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos, 67(156), 367-379, 1986.
- . SFARD. A. Operational origins of mathematical objetos and the quandary of reification - the case of function. In : The concept of function : aspects of epistemology and pedagogy. Guershon Harel and Ed. Tubinsky, Mathematical Association of America, Vol. 95, 59-84, 1992.
- . SIERPINSKA, A. On understand the notion of function. In : The concept of function : aspects of epistemology and pedagogy. Guershon Harel and Ed. Tubinsky, Mathematical Association of America, Vol. 95, 25-58, 1992.
- . SPINILLO, A. G. Proporções nas séries iniciais do 1^o grau. In : Estudos em psicologia da educação matemática. Recife : Editora da UFPE, 1993.
- . STAKE, R. E. Pesquisa qualitativa/naturalista : problemas epistemológicos. Educação e Seleção, 7 : 17-29, jan-jun, 1983.
- . TEIXEIRA, O. P. B. Desenvolvimento do conceito de velocidade : um estudo a partir de questões típicas. Dissertação de Mestrado. IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1985.
- . TOULMIN, S. Human Understanding. Princeton : Princeton University Press, 1972.
- . TROWBRIDGE, D.E, & MCDERMOTT, L. C. Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. American Journal of Physics, 49,242, 1981.
- . VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. Eur. J. Sci. Educ., 1(2), 205-222, 1979.
- . WATTS, D. M. & ZYLBERSTAJN, A. A survey of some ideas about forces. Physics Education, 16, 360-365, 1981.
- . WHITE, B. Sources of difficulty in understanding Newtonian dynamics. Cognitive Science, 7, 41, 1983.
- . ZYLBERSTAJN, A. Revoluções científicas e ciência normal em sala de aula. In : Tópicos em ensino de ciências. MOREIRA, M. A. & AXT, R. (orgs). Porto Alegre : Ed. Sagra, 47-60, 1991.

Livros Didáticos de Física para 1ª série do 2º grau :

- . ALVARENGA, B. & MÁXIMO, A. Curso de Física. Volume 1, São Paulo : Harbra, (2ª ed.)1986, (3ª ed.)1993.
- . AMALDI, U. Imagens da Física. São Paulo : Scipione, 1995.
- . BONJORNO, R. F. S. A. Física 1. São Paulo, : FTD, 1985
- . DEL GIUDICE, L. Física. Vol. 1. São Paulo : FTD, SD.
- . DELL'ARCIPRETE, Física 1 : mecânica. São Paulo : Ática, 1982.
- . FERRARO, N.G. et al. Aulas de física. São Paulo : Atual, 1991.
- . PARANÁ, D. N. Física. Volume 1, São Paulo : Ática, 1993.
- . RAMALHO et al. Os fundamentos da Física. São Paulo: Moderna, 1982

ANEXOS

ANEXO I
CONSULTA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO
CONSULTA

Prezado aluno,

Ao longo do primeiro semestre deste ano letivo, você participará, além das aulas normais, de atividades experimentais de Física, que serão desenvolvidas no laboratório, em período contrário. Essas atividades já foram desenvolvidas com turmas anteriores. Porém, neste ano, você também estará participando como sujeito de uma pesquisa que estaremos desenvolvendo, integrante de um projeto de dissertação de mestrado em Educação e Ciência. Brevemente conversaremos mais a respeito.

Por isso solicitamos a sua colaboração, respondendo a presente consulta de forma sincera, pois será de grande importância para nós.

Agradecemos sinceramente.

Profª. Terezinha de Fatima Pinheiro

CODINOME : _____

IDADE : _____ SEXO : _____

REPETENTE : () SIM () NÃO

1. O que você entende por Ciência ?

CONSULTA
Concepção de Ciência dos alunos
Descrição, análise dos dados e comentários

Quando os alunos chegam na 1ª série 2º grau, trazem consigo suas próprias compreensões do mundo construídas ao longo de suas existências, quer através de suas interações com a natureza e com as pessoas que convivem, quer através do ensino formal. O aluno tem, portanto, uma concepção de Ciência, construída a partir dessas interações, a qual consideramos inserida no campo das experiências pessoais.

O ensino básico brasileiro é constituído de oito séries nas quais o aluno entra em contato com conhecimentos distribuídos por áreas de conhecimento. Assim, é através da disciplina denominada "Ciências" que o aluno passa a conhecer através da escola o corpo de conhecimento classificado como sendo o pertencente ao das ciências naturais. É, portanto, apenas na 1ª série do segundo grau que, pela primeira vez, entrará em contato, nessa área, com disciplinas que correspondem à ciências específicas (Física, Química, Biologia).

Uma perspectiva construtivista de ensino não pode desconsiderar os conhecimentos que o aluno possui ao se deparar com um conhecimento novo. Considerando a importância de se levar em conta o conhecimento que o estudante traz para a sala de aula, para a partir desses conhecimentos estabelecer as estratégias da ação pedagógica, cabe as perguntas : Qual a concepção de ciência que o aluno possui ? Em algum momento da vida escolar do estudante esta discussão foi levantada ? Até que ponto as dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos alunos tem sua origem nessas percepções que os mesmos construíram ?

Com o objetivo de verificar as concepções que os alunos possuem sobre Ciência quando iniciam o segundo grau, solicitamos que respondessem, na primeira semana de aula do ano letivo de 1994, a uma primeira consulta na qual era perguntado : O que você entende por Ciência ? Para identificação do aluno foi solicitado que escolhesse um codinome e também que informasse o sexo, a idade e se era repetente ou não.

Para análise das respostas utilizamos como referência investigação semelhante realizada por Ledbetter(1993). Ledbetter realizou, em 1987, pesquisa com 2160 alunos de 16 escolas do Texas, na faixa etária entre 11 e 19 anos, na qual formulou a mesma pergunta. Solicitou ainda dados sobre sexo, idade, origem étnica e tipo de escola (primária, secundária). As definições apresentadas pelos alunos foram classificadas em grupos, distribuídos em 6 categorias.

Apresentamos a seguir o quadro das categorias e grupos, segundo Ledbetter.

Categoria	Palavra-chave (Grupo)
1 - Descoberta	a) Descobre
	b) Responde
2 - Atividade centrada na Escola	a) Disciplina
	b) Atividade experimental
	c) Campo de conhecimento
	d) História
3 - Fenômenos e seus efeitos	a) Estudo processos vivos
	b) Estudo fenômenos
	c) Funcionamento
4 - Atividade de raciocínio	a) Análise
	b) Explicação
	c) Conhecimento
	d) Investigação
	e) Solução de problemas
	f) Compreensão
5 - Método Científico	a) Coleta de dados
	b) Descrição
	c) Experimentos
	d) Observação
6 - Outros	a) Arte
	b) Não sabe
	c) Coisa de "iniciados"
	d) Tecnologia
	e) Visão de mundo

Tabela 1

Nossa amostra é bem mais reduzida que a utilizada na referência. O grupo aqui pesquisado é constituído de 97 alunos (45 meninas e 52 meninos) da mesma série e colégio, na faixa etária entre 14 e 17 anos. Na sua grande maioria estudam no colégio desde a 1ª série do 1º grau, portanto, todos os alunos têm as mesmas disciplinas em todas as séries. Não levamos em consideração a origem étnica, uma vez que este fator foi considerado irrelevante na nossa amostragem, todos são brasileiros sem características étnicas marcantes. Na análise das respostas dos alunos acrescentamos alguns grupos nas categorias elaboradas por Ledbetter, visando enquadrar de maneira satisfatória todas as respostas (Tabela 2). As alterações foram feitas para que se pudesse contemplar todas as respostas dos alunos e estas foram, como se pode observar, acréscimos de grupos em três das categorias.

Categoria	Palavra-chave (Grupo)
1 - Descoberta	a) Busca (acrescentado)
	b) Questiona (acrescentado)
	c) Descobre
	d) Responde
2 - Atividade centrada na Escola	a) Disciplina
	b) Atividade experimental
	c) Campo de conhecimento
	d) História
3 - Fenômenos e seus efeitos	a) Estudo processos vivos
	b) Estudo fenômenos
	c) Funcionamento
	d) Estudo elementos(todos) (acrescentado)
4 - Atividade de raciocínio	a) Análise
	b) Explicação
	c) Conhecimento
	d) Investigação
	e) Solução de problemas
	f) Compreensão
5 - Método Científico	a) Coleta de dados
	b) Descrição
	c) Experimentos
	d) Observação
6 - Outros	a) Arte
	b) Não sabe
	c) Coisa de "iniciados"
	d) Tecnologia
	e) Visão de mundo
	f) Estudo do não explicado (acrescentado)

	g) Filosofia (acrescentado)
--	-----------------------------

Tabela 2

Apresentamos a seguir os resultados da consulta 1 por categoria e grupo realizada junto aos alunos das quatro primeiras séries do segundo grau do ano de 1994 do Colégio de Aplicação.

Categoria	Palavra-chave	TG	TC
1 - Descoberta	a) Busca	1	
	b) Questiona	-	
	c) Descobre	6	
	d) Responde	2	
			9
2 - Centrada na Escola	a) Disciplina	7	
	b) Ativ. Experimental	2	
	c) Campo de conhecimento	5	
	d) História	-	
			14
3 - Fenômenos e seus efeitos	a) Estudo processos vivos	24	
	b) Estudo fenômenos	21	
	c) Funcionamento	-	
	d) Estudo elementos(todos)	11	
			56
4 - Atividade de raciocínio	a) Análise	-	
	b) Exploração	-	
	c) Conhecer	2	
	d) Investigação	2	
	e) Resolver problemas	-	
	f) Compreensão	1	
			5
5 - Método Científico	a) Coleta de dados	-	
	b) Descrição	-	
	c) Experimentos	1	
	d) Observação	-	
			1
6 - Outros	a) Arte	1	
	b) Não sabe	8	
	c) Coisa de "iniciados"	-	
	d) Tecnologia	-	
	e) Visão de mundo	-	
	f) Estudo do não explicado	2	
	g) Filosofia	1	
			12
		97	97

Tabela 3

TG - Total das respostas de cada grupo

TC - Total das respostas de cada categoria

Foi possível constatar que as respostas dos alunos pesquisados por Ledbetter se assemelham às respostas de nossos alunos, por isso utilizamos a mesma categorização, com pequenas alterações.

Podemos verificar que a categoria mais freqüente é *fenômenos e seus efeitos*, (57,7%), sendo significativo o número de respostas no grupo *estudo de processos vivos* 25%. Em seguida, com 15% vem a categoria *atividade centrada na escola*, e em terceiro lugar a categoria *descoberta*, com 10%.

Não é possível uma comparação direta entre os dados obtidos por Ledbetter e os nossos uma vez que, mesmo no caso do sexo, que forma dados comuns às duas pesquisas, não temos todos os percentuais daquela pesquisa para comparação. Entretanto verificamos que os maiores índices de respostas, tanto numa, como noutra pesquisa, se localizam nas categorias *descoberta*, *atividade centradas na escola* e *fenômenos e seus efeitos*, porém com percentuais diferentes.

Ledbetter encontrou, para o total de pesquisados, os seguintes resultados : *descoberta* (25,2%), *atividade centrada na escola* (23,3%) e *fenômenos e seus efeitos* (20,7%). Ledbetter esperava que as respostas dos estudantes mais maduros se aproximassem mais das respostas dadas pelos cientistas e especialistas em Educação e Ciência, mas isso não ocorreu. 30% de alunos de 12 anos e de alunos de 18 anos descreviam Ciência como *descoberta*. Para todas as idades, *atividade centrada na escola* aparece em torno de 20% . Muitos dos alunos que assim responderam acham Ciência uma obrigação pela qual tem que passar para se formar.

Os dados apresentados a seguir se referem aos resultados por sexo. Dos alunos pesquisados 52 são do sexo masculino e 45 do sexo feminino. A maioria dos alunos, de ambos os sexos, deram respostas que se enquadram nas três categorias mencionadas anteriormente, diferindo muito pouco em termos percentuais.

Diferenças de respostas entre meninos e meninas podem ser verificadas em outras categorias. Curiosamente, mais meninas descrevem a Ciência como *atividade de raciocínio*. Em compensação nenhuma menina relacionou Ciência com *método científico*.

Categoria	Meninos	Meninas
<i>Descoberta</i>	11,5 %	6,7 %
<i>Centrada na escola</i>	17,3 %	11,1 %
<i>Fenômeno e seus efeitos</i>	57,7 %	57,7 %
<i>Atividade de raciocínio</i>	1,9 %	8,9 %
<i>Método científico</i>	1,9 %	0,0%
<i>Outros</i>	9,6 %	15,5 %

Além das pequenas diferenças de percentuais podemos verificar que, em nossa pesquisa, nenhum aluno relacionou ciência com tecnologia ou com História, como também não considerou coisa de iniciados. Também se verifica que poucos alunos (6%) relacionam Ciência como atividade de raciocínio e menos ainda com método científico (1%) .

Outro aspecto importante que podemos observar : na pesquisa realizada por Ledbetter, verificou-se a emissão de opiniões negativas e positivas sobre a ciência, quer por seus malefícios à humanidade, tais como poluição, doenças, agressão à natureza, quer por se tratar de um conhecimento que prejudica o desempenho dos alunos na escola. Em nossa pesquisa, nenhum dos alunos manifestou opinião ou juízo de valor a respeito da ciência. Limitaram-se apenas a tentar descrever como a percebiam. O que pode nos levar a tentar responder algumas perguntas : Nossos alunos são menos críticos ? Têm pouco contato com os malefícios da ciência para emitir opinião a respeito ? Não apresentam dificuldades significativas de aprendizagem na área ? Têm uma boa relação com a área, de modo que não expressam ojeriza a esse campo do conhecimento ?

Algumas conclusões podem ser extraídas dos dados de nossa pesquisa, se levarmos em conta alguns aspectos que consideramos relevantes : Todos os alunos pesquisados são submetidos ao mesmo currículo, portanto todos recebem, a princípio, as mesmas informações. O contato que os alunos têm com a Ciência através da escola, durante 8 anos (que é o período escolar correspondente ao 1º grau), se dá por meio de uma disciplina denominada "Ciências", cujos conteúdos são, em sua esmagadora maioria, relacionados às ciências biológicas. Isto pode justificar a grande incidência de respostas no grupo "*estudo de processo vivos*".

ANEXO II
PLANOS DE ENSINO