

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA**

Juliana Machado

**MODELIZAÇÃO NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE
FÍSICA**

Florianópolis

2009



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Físicas e Matemáticas
Centro de Ciências da Educação
Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica

JULIANA MACHADO

MODELIZAÇÃO NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE FÍSICA

Prof^a. Dr^a. Sonia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz
Orientadora

Dissertação submetida ao Colegiado do Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica em cumprimento parcial para a atribuição do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica.

FLORIANÓPOLIS
2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

“MODELIZAÇÃO NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE FÍSICA”

Dissertação submetida ao Colegiado
do Curso de Mestrado em Educação
Científica e Tecnológica em
cumprimento parcial para a
obtenção do título de Mestre em
Educação Científica e Tecnológica

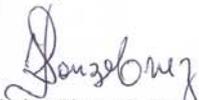
APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 02/10/2009

Drª. Sônia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz (Orientadora)

Dr. Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira (Examinador)

Dr. José de Pinho Alves Filho (Examinador)

Dr. Demétrio Delizoicov Neto (Suplente)


Dr. Frederico Firmo de Souza Cruz
Subcoordenador do PPGECT


Juliana Machado
Florianópolis, Santa Catarina, outubro de 2009.

Para Ian, por seu apoio.

AGRADECIMENTOS

À Prof^ª. Dr^ª. Sônia Maria S. C. de Souza Cruz, pela orientação, pela confiança e pela amizade.

À Prof^ª. Dr^ª. Terezinha de Fátima Pinheiro (*in memoriam*), pelo muito que me ensinou, pelo exemplo de profissional a ser seguido, pelo legado fértil que deixou com seu trabalho.

Ao Prof. Dr. José de Pinho Alves Filho, o meu querido “tio” Pinho, pelo exercício constante da crítica, pelas muitas horas de *Skype* orientando-me à distância, pela dedicação e pela amizade, agradeço carinhosamente.

Ao Prof. Dr. Maurício Pietrocola, com quem travei tantos diálogos invisíveis no decorrer desta dissertação, agradeço pelos caminhos abertos, pelas valiosas contribuições e críticas.

Ao Prof. Dr. Demétrio Delizoicov, pela contribuição indescritível a este trabalho e a toda a minha formação, pela confiança depositada, minha mais profunda gratidão, admiração e estima.

Ao Prof. Dr. Nelson Canzian da Silva, pela vivência que me propiciou durante a formação inicial, a qual sem dúvida foi um dos fatores mais importantes que me trouxeram até aqui.

A todos os alunos e ex-alunos do curso de Física na UFSC que contribuíram com dados para a realização desta pesquisa.

A meu amado, Ian Jordy López Díaz, pelo carinho, pela paciência e pelo amor, pelas muitas discussões que contribuíram para este trabalho, pelo incentivo e pela compreensão.

Aos meus amigos e familiares, por compreenderem as ausências, e, mesmo de longe, apoiarem-me.

Na educação que seja verdadeiramente uma situação gnosiológica, não há, para o educador, um momento em que, sozinho em sua biblioteca ou em seu laboratório, conheceu, e outro em que, afastado deste, simplesmente narra, disserta ou expõe o que conheceu. No momento mesmo em que pesquisa, em que se põe como um sujeito cognoscente frente ao objeto cognoscível, não está senão aparentemente só. Além do diálogo invisível e misterioso que estabelece com os homens que, antes dele, exerceram o mesmo ato cognoscente, trava um diálogo também consigo mesmo. Põe-se diante de si mesmo. Indaga, pergunta a si mesmo. E, quanto mais se pergunta, tanto mais sente que sua curiosidade em torno do objeto não se esgota. Que esta só se esgota e já nada encontra se ele fica isolado do mundo e dos homens [...] Isso é tão certo que, em qualquer ocasião em que um educando lhe faz uma pergunta ele re-faz, na explicação, todo o esforço cognoscitivo anteriormente realizado. Re-fazer este esforço não significa, contudo, repeti-lo tal e qual, mas fazê-lo de novo, numa situação nova, em que novos ângulos, antes não aclarados, se lhe podem apresentar claramente; ou se lhe abrem caminhos novos de acesso ao objeto.

Paulo Freire

Resumo

A presente dissertação se propõe a avaliar uma iniciativa de explorar o conceito de Modelização no curso de licenciatura em Física da UFSC, mais especificamente na atividade de construção de Projetos Temáticos. Investigou-se o entendimento sobre o conceito de modelo admitido por sujeitos que participaram desta atividade, através da análise de conteúdo das propostas de modelização contidas nestes Projetos Temáticos e da aplicação de questionários a um grupo de sujeitos da pesquisa. O referencial teórico da análise consiste na teorização de Mario Bunge sobre os modelos científicos e seus processos de construção. Foi possível evidenciar uma variedade de entendimentos distintos sobre o conceito de modelo sendo manifestados pelos professores em formação no curso de licenciatura em Física. A análise destes entendimentos permitiu constatar uma fragmentação existente entre as três instâncias que tomam lugar na construção dos modelos científicos, que são os objetos-modelo, as teorias gerais e os modelos teóricos. Destaca-se, também, pelas manifestações dos sujeitos da amostra investigada, a potencialidade da proposta de Projetos Temáticos no desenvolvimento de critérios e objetivos claros de ensino e de uma reflexão mais aprofundada sobre o caráter do conhecimento físico, aspectos para os quais a Modelização pode oferecer contribuições.

Palavras-chave: Modelização. Formação inicial de professores. Ensino de Física.

Abstract

This work aims to evaluate an initiative to explore the concept of modeling in the Physics Teacher Education Program at UFSC, particularly in the act of construction of Thematic Projects. We investigated the understanding of the concept of model admitted for subjects who participated in this activity through two instruments: a content analysis of the proposed modeling contained in these Projects and the application of questionnaires to a group of research subjects. The theoretical analysis framework is the theory of Mario Bunge on scientific models and their construction processes. The results showed a variety of different understandings about the concept of model being expressed by teachers in training in the above mentioned Education Program. The analysis of these understandings revealed that there is a fragmentation of the three instances that take place in the construction of scientific models, which are the object model, the general theories and theoretical models. It stands out also by the manifestations of the sample investigated, the capability of the proposed Thematic Projects in the development of clear criteria and objectives of education and further reflection on the character of physical knowledge, towards which the modeling can offer contributions.

Keywords: Modeling. Teacher's Initial Training. Physics Teaching.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO I. MODELIZAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA	18
1.1 REALIDADE FÍSICA E CONHECIMENTO CIENTÍFICO	19
1.1.1 O CONCEITO DE MODELO CIENTÍFICO	24
1.1.2 A TEORIA BUNGEANA DOS MODELOS CIENTÍFICOS	28
1.2 REALIDADE FÍSICA E O ENSINO DE CIÊNCIAS.....	35
1.2.1 MODELOS NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA	38
1.2.2. UMA COMPREENSÃO À LUZ DA TEORIA BUNGEANA	48
CAPÍTULO II. CONHECIMENTO, REALIDADE E A FORMAÇÃO DO PROFESSOR	58
2.1. UM PROBLEMA EM ABERTO.....	59
2.1.1 INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA E SUA HISTÓRIA NA UFSC	62
2.1.2 PROJETO TEMÁTICO	68
2.2 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	72
2.2.1 ANÁLISE DE CONTEÚDO	75
2.2.2 QUESTIONÁRIOS	76
2.3 DELINEAMENTO DA INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA.....	78
2.3.1 A GÊNESE DA INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA.....	79
2.3.2 PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO DE DADOS	85
CAPÍTULO III. RESULTADOS E CONCLUSÕES	87
3.1. ANALISANDO OS PROJETOS TEMÁTICOS	87
3.1.1. CAIXA-PRETA	90
3.1.2 ANÁLOGO OU SIMULACRO	95
3.1.3 OBJETO-MODELO	101
3.1.4 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DE OUTRA NATUREZA	105
3.1.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DOS PROJETOS TEMÁTICOS	109
3.2 RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS	117
3.2.1 A CONSTRUÇÃO DO PROJETO TEMÁTICO	120
4.2.2 A METODOLOGIA DA ATIVIDADE DE ELABORAÇÃO DE PROJETOS TEMÁTICOS.....	127
4.2.3 DIFICULDADES NA ELABORAÇÃO DO PROJETO TEMÁTICO	132
4.2.4 O CONCEITO DE MODELO.....	136
3.3. PARA CONCLUIR... ..	140
3.3.1 O LICENCIANDO-MODELO	141
3.3.2 O DUPLO SIGNIFICADO DA MODELIZAÇÃO	144
3.3.3 A RELAÇÃO ENTRE A MODELIZAÇÃO E A ABORDAGEM TEMÁTICA	147
3.3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
REFERÊNCIAS	155
ANEXOS.....	163

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem-se percebido uma grande evolução das pesquisas em Ensino de Ciências, porém uma série de problemas é apontada pelos pesquisadores em relação às implicações destas para a formação inicial de professores e nas metodologias de ensino (VILLANI, 1982; DELIZOICOV, 2005).

Nesse sentido, novos currículos têm sido implementados, nos quais existe a preocupação em melhor conectar as disciplinas de formação conceitual específicas com as disciplinas que trabalham os conteúdos didático-pedagógicos, atualmente denominados de Práticas como Componentes Curriculares. A formulação de disciplinas com este enfoque visa diminuir o descompasso observado entre a evolução das pesquisas em Ensino de Ciências nas últimas décadas e a prática escolar, descompasso este que tem sido apontado por diversos autores, como Pietrocola (2005), Westphal (2006) e Rezende Junior (2006).

A preocupação com os currículos se justifica, pois parte¹ da explicação para esse descompasso reside, segundo alguns têm defendido, na estrutura curricular tradicional dos cursos de formação inicial dos professores. Não obstante a ocorrência de modificações curriculares, ao que parece, a simples justaposição de disciplinas dos conhecimentos específicos (Física, Química, Matemática) e disciplinas de cunho didático-pedagógico não tem se mostrado eficaz na promoção de uma integração entre conteúdos e metodologias por parte dos professores em formação.

Independentemente de sua atualidade, este descompasso não é um problema novo: basta observar que Pinho Alves (1990), ao analisar a tendência curricular predominante no curso de Licenciatura em Física da UFSC, conclui que o currículo de então, “... *mesmo tendo sido elaborado e re-elaborado diversas vezes, se caracteriza como um currículo predominantemente conteudista, e, por consequência, de orientação pedagógica reprodutivista e politicamente conservador*” (PINHO ALVES, 1990). Dentro desse quadro, é questionável a expectativa de que a inserção de resultados da pesquisa em Ensino, apenas

¹ Certamente não está na formação dos professores a totalidade da causa desse problema, que passa por questões envolvendo toda a *noosfera* (CHEVALLARD, 1991) e seu entorno. As questões que se situam para além do processo formativo do professor não fazem parte do escopo desse trabalho, portanto não nos deteremos nestas.

como conteúdos de conhecimento, poderia promover a integração citada no parágrafo anterior.

Westphal (2006) e Zimmermann e Bertani (2003) também ressaltam que parte da origem do problema se encontra na tradicional desarticulação entre as disciplinas durante o processo formativo do professor. A pesquisa de Westphal (2006), por exemplo, reforça esta observação quando enfatiza que uma boa bagagem teórica concernente às concepções progressistas não dá conta, isolada dos conteúdos específicos, de favorecer a mudança na prática dos professores, mesmo quando estes defendem posições construtivistas. Em lugar disso, esse tipo de formação mais facilmente resulta num discurso teórico construtivista aliado a uma prática marcadamente tradicional.

Ao que parece, esta situação tem como um dos principais efeitos, em relação ao ensino, o de contribuir para a perpetuação de um antigo problema do ensino de Física: a clássica dicotomia entre a realidade física e o conhecimento escolar. Enquanto a realidade se apresenta como algo complexo, cujo conhecimento está condicionado a idealizações e aproximações, em sala de aula, tradicionalmente aparecem somente os resultados finais deste longo e árduo processo.

Como conseqüência, o que se deflagra muitas vezes na prática escolar é uma *identificação* dos objetos da realidade, presentes no cotidiano, com aqueles que compõem as teorias. Assim, conceitos como ponto material, raios luminosos, spin do elétron, etc, não são apresentados como representações idealizadas, mas como a realidade diretamente sensível. Nessas condições, não é de estranhar que o aluno encontre dificuldades em relacionar os modelos apresentados em sala às situações reais encontradas fora da escola ou mesmo no laboratório².

Diante destas circunstâncias, parece cada vez mais necessária uma valorização do processo de aprendizagem dos conteúdos específicos por parte dos professores em formação. Não se trata da construção de um novo padrão a ser reproduzido, pois essa valorização só pode acontecer se forem fornecidas, aos licenciandos, oportunidades que os instiguem a buscar uma compreensão diferenciada desses conteúdos específicos.

Nesta direção, a partir de 2000 foi implementada uma nova seqüência de três disciplinas no Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Santa Catarina

² Uma análise do modo como os objetos da ciência são incorporados por estudantes do ensino médio, com base no conceito de sentimento de realidade, pode ser encontrada em Pinheiro (2003).

(UFSC), denominadas Instrumentação para o Ensino de Física A (INSPE A), Instrumentação para o Ensino de Física B (INSPE B) e Instrumentação para o Ensino de Física C (INSPE C). Essas disciplinas, além de buscarem diminuir o descompasso citado há pouco, visam também a promoção de uma integração entre conteúdos e metodologias por parte dos licenciandos.

Para esse fim, um enfoque diferenciado é dado a estas disciplinas. Na primeira disciplina do conjunto, INSPE A, é feita inicialmente uma introdução à epistemologia, na qual se discutem o objeto desta ciência e os três modelos básicos do progresso do conhecimento (mecanicista, idealista e dialético), além das contribuições dos principais epistemólogos. Em uma segunda etapa, os licenciandos são apresentados aos projetos de ensino nacionais e internacionais que tiveram um papel importante na história da área de Ensino de Física (PSSC, PEF, Harvard, FAI, Piloto) e são orientados a desenvolverem uma análise crítica destes projetos. Além disso, são apresentados e discutidos alguns conceitos básicos da Didática das Ciências, notadamente da linha francesa (Concepções Alternativas, Transposição Didática, Contrato Didático), além de se abordar as perspectivas da Modelização e do uso de História da Ciência com fins didáticos. Além das discussões teóricas baseadas em reflexões sobre estes conceitos, os licenciandos elaboram e apresentam atividades didáticas cuja concepção esteja fundamentada nestes conceitos. A elaboração e apresentação destas atividades têm em vista não somente o favorecimento da compreensão destes conceitos em uma perspectiva prática, mas também a possibilidade de avaliar criticamente a implementação destas reflexões.

Na disciplina INSPE B, realizada na fase subsequente, os licenciandos são apresentados aos estudos da Alfabetização Científica, nas vertentes CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e ACT (Alfabetização Científica e Técnica). Em seguida, dá-se início à atividade que busca integrar todo o conteúdo trabalhado até então, de forma problematizada. Os alunos são solicitados a desenvolver um módulo de ensino a partir de um tema que destaca um fenômeno da natureza ou de ordem tecnológica. Além da integração dos conteúdos, o desenvolvimento do “Projeto Temático” tem ainda por objetivo promover a aproximação entre o conhecimento escolar e a realidade. A disciplina INSPE C, por sua vez, é voltada à reformulação e aplicação dos Projetos Temáticos.

Destacamos brevemente o foco das disciplinas de Instrumentação no que diz respeito à formação inicial de professores. Por outro lado, observamos que devido seu caráter inovador e diferenciado dentro do currículo, este conjunto de disciplinas tem se revelado um objeto rico para a investigação em ensino. Assim, tem possibilitado a investigação da

ressignificação dos conceitos, como destacou Rezende Junior (2006), como também a investigação de aspectos como as dificuldades enfrentadas pelos alunos com mudança do contrato didático e o papel de mediador que cabe ao professor.

Na elaboração do Projeto Temático, o licenciando é orientado, a partir de um fenômeno físico ou tecnológico, a construir uma explicação, uma representação para este fenômeno, materializada na forma de um módulo de ensino. Em outras palavras, o professor em formação, nesta circunstância, desenvolve um determinado processo a fim de atingir o Projeto Temático como produto final. Rezende Junior (2006), ao desenvolver uma pesquisa relacionada à confecção dos Projetos Temáticos na licenciatura em Física da UFSC, mostrou que esta tarefa se constitui em uma “*situação didática diferenciada*”³ (REZENDE JUNIOR, 2006) no processo formativo do professor.

A tarefa coloca para os licenciandos um problema real a resolver, que é o de elaborar uma explicação para o fenômeno. Ao enfrentar este problema, a primeira constatação é a de que a Física apreendida nas disciplinas específicas muito frequentemente não dá conta, sozinha, de responder às questões levantadas pelo Tema. Para tanto, requer-se a construção de novas Modelizações⁴, que por sua vez implicam no estabelecimento de novos significados aos conceitos pertinentes. Isso se dá pelas especificidades da própria situação, já que as questões que surgem no decorrer do caminho de construção da explicação não serão, muitas vezes, as mesmas que deram origem às “respostas” pré-fabricadas, dispostas nos livros didáticos clássicos cujos conteúdos os licenciandos supostamente se apropriam. Também não são, necessariamente, as mesmas questões enfrentadas pelos cientistas na produção histórica destes conhecimentos.

Se admitirmos que os modelos explicativos que constituem os conteúdos supostamente apreendidos pelos licenciandos nas disciplinas específicas das primeiras fases, como conhecimentos científicos, são, por isso mesmo, aproximativos, podemos prever que nem sempre essas aproximações são as mais adequadas na busca de descrever um fenômeno particular. Isso porque são produtos de uma Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991) vinculada a outros critérios e objetivos, distintos destes que surgem quando buscamos alcançar uma compreensão de tais fenômenos.

³ Termo empregado por Rezende Junior (2006) com base na Teoria dos Campos Conceituais de G. Vergnaud.

⁴ A compreensão de Modelização adotada neste trabalho será objeto de discussão mais profunda no decorrer do Capítulo 1.

Conseqüentemente, a ação passa por uma nova seleção de variáveis pertinentes e de conteúdos de conhecimentos, seleção que precisa ser feita pelos próprios licenciandos. Passa, portanto, necessariamente, por uma nova Transposição Didática. Nessa construção de significados o licenciando precisa tomar decisões, estabelecer critérios, e, muito freqüentemente, reaprender conteúdos específicos. Em outras palavras, é requerido o desenvolvimento de determinadas competências intelectuais que demanda, além de um conhecimento conceitual aprofundado do tema, também o exercício de um senso crítico, analítico, para a realização de escolhas. Nesse sentido, vemos como apropriada a denominação “situação didática diferenciada”.

Ao tecer considerações sobre os resultados que obteve na pesquisa anteriormente referida, Rezende Junior (2006) conclui que

É possível afirmar que para a maioria de licenciandos que participaram da produção e/ou reestruturação dos PT [Projetos Temáticos] nas disciplinas de INSPE [Instrumentação para o Ensino de Física] B e C do curso de licenciatura em Física da UFSC, houve ganhos significativos, tanto em relação a apreensão de conceitos envolvidos nos PT quanto ao processo de ensino em si, didático e metodológico. (...) os ganhos principalmente de ordem conceitual foram obtidos através de comparativos entre os licenciandos, em diferentes momentos, ao longo do processo de desenvolvimento dos PT, e também, no comparativo entre licenciandos e bacharelados, tanto em questionamentos específicos relativos às temáticas tratadas nos PT, quanto em questionamentos teóricos mais gerais.” (REZENDE JUNIOR, 2006, p. 233).

E, mais adiante,

Mas, mais importante do que os ganhos em termos conceituais e metodológicos, foi notório durante todo o processo de acompanhamento, uma ampliação na idéia de educação no seu sentido mais amplo, onde perguntas “o quê ensinar?”, “ensinar para quê?”, “ensinar para quem?”, se apresentaram na forma de uma auto-avaliação pelos licenciandos entrevistados. (REZENDE JUNIOR, 2006, p. 235).

A partir dos resultados obtidos por Rezende Junior é possível perceber que a situação colocada neste conjunto de disciplinas parece indicar um caminho promissor ao enfrentamento do problema do descompasso entre as contribuições teóricas e as práticas escolares, ou, pelo menos, lançar as sementes deste enfrentamento na formação inicial de professores. Em função de sua natureza diferenciada, a tarefa de construção do Projeto Temático, quando é realizada de acordo com o que propõe, não permite a simples reprodução de saberes a ensinar já transpostos e ressincretizados (CHEVALLARD, 1991) e, portanto, instala um problema para o qual os licenciandos ainda não possuem uma conduta metacognitiva prévia para tratar.

Ao desenvolver tal conduta, entram em jogo, ao mesmo tempo, questões conceituais relativas aos conhecimentos específicos e questões didáticas e metodológicas, uma vez que o produto material deverá oferecer um módulo de ensino completo, não só no que se refere ao conteúdo, mas também à sua aplicação. Numa leitura de Chevallard (1991), pode-se dizer que a tarefa do professor em formação neste contexto é dupla: por um lado, com a re-elaboração do saber a ensinar, o que por si só pressupõe a produção de um conhecimento; por outro, com o encaminhamento didático que será dado a este produto.

Pretendemos neste trabalho avançar na direção sinalizada por Rezende Junior (2006), que já indicou o potencial desta atividade em revalorizar a aprendizagem de conhecimentos específicos sob um enfoque que permita a associação entre estes e os critérios didático-metodológicos.

Nossa tese é que é possível favorecer uma aproximação entre os conteúdos científicos veiculados no contexto escolar e a realidade física, através da explicitação do aspecto processual na construção deste conhecimento, o que poderia ocorrer durante a formação inicial dos professores. Na essência desta aproximação identificamos o conceito de Modelização, que permitirá aprofundar nosso entendimento sobre os processos de construção de conhecimentos, sejam científicos ou escolares.

É no contexto da formação inicial de professores que buscaremos avaliar este aspecto, pois acreditamos que esta é a porta de entrada para possíveis mudanças na educação básica. Nesse sentido, a presente dissertação se propõe ao estudo de uma iniciativa de explorar o conceito de Modelização no curso de licenciatura em Física da UFSC, mais especificamente na atividade de construção de Projetos Temáticos. Esta atividade, como já foi mencionada, vem sendo aplicada a alguns anos, de maneira que se dispõe de um conjunto de dados referentes a estas aplicações.

O problema de investigação da presente pesquisa é: qual é o entendimento de licenciandos em Física na UFSC sobre o conceito de Modelização? Tendo em vista a polissemia no emprego deste termo na pesquisa em ensino de Ciências, contudo, se faz necessário inicialmente examinar compreensões diferentes e seus possíveis aspectos em comum na revisão de literatura, além de caracterizar especificamente a compreensão das pesquisadoras. Para fundamentar o conceito de modelo, teremos como referencial a teorização de Mario Bunge, físico, filósofo e epistemólogo defensor do realismo crítico, pano de fundo epistemológico desta investigação.

São assumidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar o conceito de modelo como essência da relação entre conhecimento teórico e realidade física;
- Discutir o significado de modelo científico na epistemologia e caracterizá-lo de acordo com o referencial teórico adotado;
- Resgatar a discussão sobre a Modelização na corrente literatura da educação científica e caracterizar sua compreensão dentro desta investigação, com base no referencial teórico;
- Caracterizar o encaminhamento didático dado ao conceito de Modelização no contexto da presente pesquisa, vinculado à construção de Projetos Temáticos;
- Obter informações sobre o entendimento de modelização dos sujeitos da pesquisa através da aplicação de questionários e de análise de conteúdo dos Projetos Temáticos;
- Analisar este entendimento à luz das considerações teóricas e examinar possíveis lacunas ou compreensões equivocadas.

Mesmo acontecendo regularmente avaliações e adaptações, muito pouco está registrado sobre este processo. Os registros que aparecem estão restritos aos planos de Ensino e em alguns trabalhos dos professores

No capítulo inicial são apresentados e discutidos os pressupostos teóricos que fundamentam a Modelização, por ser este o aspecto escolhido para avaliar a efetividade da proposta inserida no currículo do Curso de Licenciatura em Física da UFSC, com o objetivo em promover uma reflexão maior do licenciando sobre o processo ensino-aprendizagem. De início, expõem-se considerações acerca do ato de modelizar na Ciência e no ensino, para que, em seguida, possamos aprofundar a discussão sobre o significado dos modelos e seus processos de construção na formação inicial de professores e o potencial da Modelização em contribuir na disseminação de uma imagem mais adequada da relação entre conhecimento científico e realidade física. Conforme já foi mencionado, a compreensão de modelo subjacente a esta investigação busca apoiar-se na teoria bungeana, que também é descrita neste capítulo.

O segundo capítulo é dedicado ao contexto histórico e curricular do conjunto de disciplinas de Instrumentação para o Ensino de Física na UFSC, e também às etapas de elaboração dos Projetos Temáticos na forma como vêm sendo realizados atualmente. Com isto pretende-se situar o contexto da pesquisa. Resgata-se também a discussão sobre a abordagem dos processos de construção de modelos na formação inicial de professores. O objetivo deste resgate é contextualizar nosso problema dentro da abrangente área da educação científica. Também é dedicado à explicitação do desenvolvimento metodológico escolhido para explorar o problema, desde seus pressupostos teóricos até a descrição dos procedimentos específicos das informações obtidas pelos sujeitos (licenciandos e licenciados autores de Projetos Temáticos). Como se verá, as informações serão obtidas mediante dois recursos: a análise de conteúdo (BARDIN, 1998) dos Projetos Temáticos desenvolvidos entre 2002 e 2008 e a aplicação de questionários a alunos e ex-alunos que tenham participado da elaboração de tais Projetos.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos no tratamento destes dados e também as interpretações sobre o que foi observado, buscando-se relacionar as categorias de compreensões manifestadas pelos licenciandos com considerações oriundas do referencial teórico, da literatura e de “concepções alternativas” ao conceito de modelo que já se tornaram clássicas do senso comum.

CAPÍTULO I. MODELIZAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

Conforme se buscou explicitar na Introdução, nesta pesquisa tem-se, como um dos objetivos, identificar as compreensões de modelos e modelização que são comunicadas na ação docente a qual se desenvolve no contexto dos Projetos Temáticos, na disciplina INSPE B do curso de licenciatura em Física na UFSC. Para isso, faz-se necessário discutir previamente determinados aspectos teóricos. Neste capítulo serão elaboradas tais discussões.

Inicialmente procurou-se localizar os pressupostos fundamentais da perspectiva epistemológica na qual se baseia o referencial utilizado neste contexto. Para isso, recorreu-se aos subsídios teóricos que são oferecidos aos licenciandos acerca do tema da modelização e identificou-se, nestes textos, a inspiração teórica advinda da epistemologia de Mario Bunge. A fim de esclarecer a filiação epistemológica deste autor, optou-se por apresentar inicialmente, e de uma forma geral, a perspectiva do realismo científico crítico. Em seguida, procede-se a uma breve revisão de literatura sobre o tema dos modelos científicos no cenário filosófico com o intuito de contextualizar a posição do autor dentro desta discussão. Na seqüência passa-se a apresentar a teoria bungeana dos modelos científicos e a compreensão deste autor sobre a questão da interação entre conhecimento e realidade.

Na segunda seção, a discussão é trazida para o campo do ensino. Inicialmente são levantados alguns aspectos mais freqüentes relacionados ao problema dos modelos e da modelização no ensino de Ciências. Discute-se a polissemia desses termos no contexto educacional, expondo o entendimento de distintos autores sobre o significado da modelização e também sobre suas finalidades. Além disso, são objeto desta discussão as diferentes compreensões relacionadas ao aspecto operacional, isto é, sobre como são feitas atividades de modelização no ensino de ciências. Com isso pretende-se localizar aproximações e distanciamentos presentes na literatura. Levando em conta as considerações pertinentes ao ensino levantadas na segunda seção e à luz do referencial teórico bungeano apresentado na primeira seção, procura-se elaborar uma compreensão dos aspectos essenciais de uma atividade de modelização para o contexto do ensino de Física. O que se espera é que estas discussões, aliadas à síntese final com a qual culmina este capítulo, além de oferecer um pano de fundo coerente possa contribuir na elaboração de categorias de análise que possam auxiliar na consecução dos objetivos da pesquisa, atrás expostos.

1.1 REALIDADE FÍSICA E CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Pietrocola (1999), ao tecer críticas à perspectiva epistemológica construtivista, assevera que “*o mundo e sua cognoscibilidade são os motivos preferenciais do fazer científico, assim como deveriam ser aqueles da educação científica*”. Desse modo demonstra a existência de um objetivo comum entre a educação científica escolar e a atividade da comunidade científica, que é o de “*ampliar nosso conhecimento sobre a natureza gerando imagens adequadas do mundo*” (PIETROCOLA, 1999, p. 8). Mas, quais são os pressupostos que sustentam a afirmação de que as imagens científicas são adequadas? E de que forma é possível a ampliação do conhecimento que temos sobre a natureza? Uma compreensão possível para estas questões, que buscaremos oferecer nesta seção, está baseada no papel dos modelos na atividade científica.

Principalmente a partir da segunda metade do século XX, o tema dos modelos científicos vem sendo objeto de estudo para numerosos autores no campo da epistemologia e filosofia da ciência. Um dos aspectos que parece consensual nestes estudos é a idéia de que os modelos não são elementos secundários ou auxiliares. Ao contrário, ocupam uma posição central no progresso científico (LEHRER; SCHAUBLE, 2007; SUÁREZ, 1999).

Nessa perspectiva, a pergunta acerca dos modelos que se relaciona com o problema do conhecimento e que têm sido objeto de debates, é: como os modelos científicos se relacionam com a realidade? (KOPONEN, 2007; MATTHEWS, 2007). Se adotarmos o pressuposto de que o próprio conhecimento científico é produzido por meio da construção de modelos, a questão poderia ser reformulada: como deve ser compreendida a relação entre o conhecimento científico e a realidade?

Para Hessen (1979), a investigação da referência do pensamento em relação ao objeto é justamente a preocupação central da teoria do conhecimento, a qual abriga diferentes concepções para este problema. Não nos proporemos neste trabalho a realizar uma crítica de todas estas diferentes concepções, o que está além dos objetivos e limitações desta pesquisa. Em lugar disto, procuraremos caracterizar uma concepção que, ao mesmo tempo em que se harmoniza com o referencial teórico desta pesquisa, também responde aos questionamentos colocados no primeiro parágrafo desta seção de maneira coerente com as atuais discussões sobre modelos e também com nossas convicções.

Nesse sentido, a compreensão dos modelos como mediadores entre a realidade e o conhecimento científico não pode prescindir de um posicionamento claro em relação à teoria do conhecimento. Sob o ponto de vista da educação científica, além do mais, este posicionamento precisa estar em consonância com os objetivos assumidos para o ensino de Ciências. Afinal, o ato de ensinar conteúdos ou formas de pensar próprios da Ciência teria pouca importância caso não supuséssemos que tais conteúdos relacionam-se com a realidade exterior e tais formas de pensar são eficazes na apreensão da realidade pelo pensamento.

Levando em conta estas considerações e também de forma consistente com a maioria dos autores contemporâneos preocupados com a modelização na educação científica, avançamos na direção sinalizada por Pietrocola (1999), Cupani e Pietrocola (2002) e Westphal e Pinheiro (2004), que apontam a perspectiva do realismo científico crítico como adequada e frutífera para embasar reflexões para o ensino. Nas páginas que seguem, procuraremos descrever esta perspectiva.

Niiniluoto (2002) propõe cinco teses para caracterizar o realismo científico crítico. A primeira delas é a perspectiva do realismo ontológico, isto é, a idéia segundo a qual a realidade existe anterior e independentemente do sujeito (NIINILUOTO, 2002). Esta proposição diz respeito à *essência do conhecimento* e sua antítese é o idealismo⁵ (HESSEN, 1979).

A segunda assunção se refere ao conceito de verdade. Para Niiniluoto, dentro do realismo científico crítico, a verdade é tida como uma relação semântica entre a linguagem e a realidade e “*e seu melhor indicador é dado pela pesquisa sistemática utilizando métodos da ciência*” (NIINILUOTO, 2002, p. 10). De acordo com este autor, o realismo semântico distingue o realista do pragmático (que substituiria o conceito de “verdadeiro” por outros termos, como “verificado”, “coerente” ou “consensual”), e do anarquista epistemológico, (que rejeitaria a aplicação de qualquer conceito de verdade). Parece, portanto, relacionar o conceito de verdade com a *possibilidade do conhecimento*. Por outro lado, Hessen (1979) enfatiza a relação entre o conceito de verdade e a *essência do conhecimento*, ao diferenciar o conceito *transcendente* da verdade, segundo o qual a verdade consiste na concordância do conteúdo do pensamento com o objeto, e o conceito *imane*nte da verdade, segundo o qual a verdade é a

⁵ No sentido epistemológico, podemos distinguir dois tipos de idealismo: o subjetivo, segundo o qual a realidade está encerrada na consciência do sujeito, e o lógico, que admite que os objetos pretensamente reais na verdade são objetos ideais, que existem somente como conceitos, nem fora, nem dentro do sujeito cognoscente (HESSEN; 1979).

“concordância do pensamento consigo mesmo” (HESSEN, 1979). A primeira concepção é realista enquanto a segunda é idealista.

Não abordaremos nesta dissertação o difícil problema filosófico da verdade factual aproximada, o que estaria muito além do escopo desta investigação. Podemos notar, de passagem, que tanto Hessen (1979) como Bunge (1985), ao discutir o conceito de verdade, resgatam a classificação de Leibniz em verdades de razão (*vérités de raison*) e verdades de fato (*vérités de fait*). A primeira pode se estabelecer somente com ajuda da razão, independentemente da experiência⁶, enquanto a segunda tem sua validade dependente do domínio empírico⁷. Bunge (1985) enfatiza que esta distinção não obriga a uma separação entre estas verdades.

A tese seguinte apontada por Niiniluoto declara que todos os produtos da pesquisa científica, incluindo leis, teorias e inferências sobre a existência de entidades teóricas são suscetíveis de serem verdadeiros ou falsos, de acordo com o conceito de verdade estabelecido na asserção anterior. Assim, assume-se que as teorias científicas são uma tentativa de obter a verdade; esta é uma aspiração essencial da ciência. Este atributo constitui o realismo axiológico e distingue o realismo científico crítico da perspectiva axiológica anti-realista, que, por supor que a verdade é inatingível, substitui a aspiração fundamental da ciência por outros critérios, como simplicidade, potencial de resolução de problemas, adequação empírica, etc. (NIINILUOTO, 2002). Por fim, as duas últimas teses apontadas por Niiniluoto (2002) atestam que, no realismo científico crítico, a verdade não é tida como facilmente acessível ou reconhecível (divergindo do realismo ingênuo), mas a aproximação da verdade e o acesso, de forma racional, ao progresso cognitivo, são possíveis (em oposição ao ceticismo, que nega estas possibilidades).

Todas as três teses contidas no parágrafo precedente se referem ao problema da possibilidade do conhecimento. As duas primeiras, como vimos, relacionam-se com a possibilidade e com a essência. Em uma leitura de Hessen (1979), é possível perceber que esta caracterização de Niiniluoto (2002) não responde ao problema da *origem do conhecimento*, isto é, a questão de qual seria a fonte do conhecimento, se a razão ou a experiência. Nesta perspectiva, portanto, seria possível admitir todas as cinco teses de Niiniluoto (2002) e ao mesmo tempo sustentar uma epistemologia empirista, ou racionalista. Esta não é, contudo, a

⁶ É o caso das proposições lógicas e matemáticas, como a desigualdade triangular (o comprimento de um dos lados de um triângulo é sempre menor do que a soma dos comprimentos dos outros dois lados).

⁷ Por exemplo, a asserção de que Isaac Newton nasceu em 1643.

orientação das discussões contemporâneas sobre a modelização na Ciência. Estas discussões voltam-se, pelo contrário, para a idéia de que a origem do conhecimento se dá pela interação entre o sujeito e o objeto do conhecimento.

Bunge (1985), ao expor sua caracterização do realismo científico⁸, além de concordar com as teses de Niiniluoto (2002) registra a mais que “*segundo o realismo científico, a experiência e a razão, longe de bastarem-se cada qual a si mesma quando tentam conhecer a realidade, necessitam-se mutuamente*” (BUNGE; 1985, p. 44, tradução nossa). Em relação à gênese do conhecimento, portanto, assume uma posição algumas vezes chamada de *construtivismo*⁹.

Pietrocola (1999), ao analisar movimento educacional construtivista atual, assinala que este não se coaduna com a apreensão da realidade como objetivo principal da educação científica, por valorizar em excesso o papel do indivíduo. O autor argumenta que, para se harmonizar com este objetivo, o movimento precisaria ser reformulado com base em uma concepção realista crítica. Ao fazer esta análise, o autor pressupõe que alguns dos posicionamentos epistemológicos contidos no construtivismo radical¹⁰ estariam presentes nas outras versões, menos radicais, do construtivismo. Porém, não identifica de maneira específica o que considera como “movimento construtivista atual”, afirmando de uma maneira geral que “... a valorização do caráter individual das construções de conhecimento é uma característica amplamente enfatizada pelo movimento construtivista como um todo” (PIETROCOLA, 1999, p. 4). Do ponto de vista epistemológico, segundo Pietrocola (1999), as idéias de Thomas Kuhn, ou melhor, as transposições destas idéias para o contexto educacional, contribuiriam para reforçar a valorização excessiva do papel do indivíduo, suposta marca do construtivismo.

Tendo em vista esta reformulação realista crítica para o construtivismo, Pietrocola (1999) contribui trazendo um entendimento de modelização com base nas idéias de Mario Bunge, entendimento do qual compartilhamos e buscaremos explorar nas próximas seções. Porém, embora seja verdadeiro que determinadas vertentes do construtivismo tenham um

⁸ Para Bunge, o realismo científico é um subconjunto do realismo crítico, que acrescenta a tese de que a Ciência proporciona o melhor conhecimento da realidade frente a outras formas de conhecimento, como o artístico, místico, ou senso-comum (BUNGE, 1985).

⁹ O construtivismo epistemológico consiste na idéia segundo a qual “a nossa representação da realidade é algo construído por nós” (CUPANI; PIETROCOLA, 2002).

¹⁰ “Construtivismo radical é radical porque ele quebra com o que está concebido e desenvolve uma teoria de conhecimento na qual o conhecimento não reflete uma realidade ontológica “objetiva”, mas exclusivamente uma ordenação e organização de um mundo constituído pela nossa experiência. O construtivismo radical abandonou o “realismo metafísico” de uma vez por todas” (Glaserfeld (1989) apud Matthews (1994)).

caráter relativista, como é pressuposto pelo autor, em nossa perspectiva é preciso reconhecer a multiplicidade de “construtivismos” existentes na literatura, os quais diferem em muitos aspectos, inclusive no aspecto ontológico. Assim, não estaremos sugerindo que outras perspectivas educacionais construtivistas já existentes, que não sejam baseadas na transposição das idéias de Bunge, sejam necessariamente incompatíveis com o realismo crítico.

Concordamos com a argumentação de Pietrocola (1999) segundo a qual, se a realidade ocupa uma posição importante na atividade científica, parece razoável considerar que o deva fazer também no ensino de Ciências. Afinal, na ausência de uma realidade externa, cognoscível e atingível, ainda que de forma aproximada, teria pouco ou nenhum sentido supor que a educação científica possa (ou deva) produzir algum *sentimento de realidade* (PINHEIRO, 2003) nos estudantes. E admitindo que, na Ciência, a mediação entre a realidade e o conhecimento sobre esta produzido é realizada através dos modelos científicos, somos levados a admitir também a importância destes modelos na vinculação entre os conteúdos científicos escolares e a realidade física percebida pelos estudantes. A nosso ver, a re-inserção da realidade na atividade didática e a busca em compreender esta realidade através da modelização abrem um caminho para a diminuição do abismo entre a ciência escolar e o mundo.

Na próxima seção, estaremos interessados na caracterização dos modelos do ponto de vista da epistemologia. Inicialmente apresentaremos uma breve discussão sobre o tema na literatura em geral da área. Em seguida aprofundaremos a compreensão de modelos no referencial escolhido, que é a teoria de modelos de Mario Bunge. Em uma seção posterior iremos abordar algumas contribuições e possíveis implicações desta discussão epistemológica para o ensino de Ciências, em particular, de Física.

1.1.1 O conceito de modelo científico

Para Portides (2007), os modelos científicos podem ser entendidos, de uma forma geral, como entidades teóricas que proporcionam a ligação entre teoria e experimentação e que se valem de dois importantes recursos: a idealização e a aproximação. Esta noção está de acordo com a concepção realista crítica, segundo a qual, como vimos, a investigação científica aspira à verdade, embora só a atinja de forma aproximada.

Conforme mencionado anteriormente, um dos pontos convergentes no atual debate sobre os modelos é a idéia de que estes funcionam como os agentes que relacionam teoria e realidade. Sob este enfoque, o problema essencial relacionado aos modelos científicos poderia ser formulado: Como os modelos proporcionam a interação entre os objetos reais com que lida a Ciência e os conhecimentos teóricos que se referem a estes objetos? Alguns autores têm defendido distintas respostas a essa questão. Portides (2007) aponta a emergência de duas principais visões dentro do campo filosófico.

Na primeira, um modelo é entendido como uma estrutura matemática que fornece uma descrição do fenômeno dentro do seu “escopo pretendido”. Esta concepção é conhecida como a “visão semântica das teorias” e origina-se principalmente dos trabalhos de Suppes (1962), Suppe (1977), van Fraassen (1980) e Giere (1988).

Nessa visão, inexistente a distinção entre teoria e modelo: as teorias são simplesmente agrupamentos ou famílias de modelos (VAN FRAASSEN, 1984; GIENE, 1988). Os modelos poderiam ser organizados hierarquicamente, de acordo com a maior proximidade dos dados empíricos (modelos de baixo nível, leis experimentais) até o maior afastamento em relação a estes dados, ou seja, os modelos derivados diretamente de considerações teóricas (níveis superiores)

Dentro desta compreensão geral da visão semântica, existem algumas posições de certa forma distintas, especificamente no aspecto metodológico do problema da aceitação das teorias. Destas, as mais conhecidas são o *construtivismo empirista* de van Fraassen (1980) e o *construtivismo realista* de Giere (1990).

Van Fraassen, ao contrário da maioria dos autores mencionados neste capítulo, adota uma posição epistemológica anti-realista. Para este autor, a aceitação de uma teoria

científica não é uma indicação de que a teoria seja verdadeira, mas apenas que ela seja empiricamente adequada. A verdade não seria uma aspiração da ciência, ao contrário do que prega o realismo. Apenas a adequação empírica é o objetivo último da teorização científica, e uma teoria é empiricamente adequada se “*o que ela diz sobre as coisas observáveis e os eventos neste mundo são verdade – exatamente se ela ‘salva os fenômenos’*” (VAN FRAASEN, 1980, p. 12)

Para Giere, uma hipótese teórica afirma a existência de uma similaridade entre um modelo teórico específico e o sistema real correspondente. Esta similaridade é limitada a determinados graus e aspectos (GIERE, 1990). É esta relação de similaridade entre o modelo e a realidade ao qual este se refere, diz Giere, que constitui a importância dos modelos.

A adoção da visão semântica como referencial teórico para a pesquisa em Ensino de Ciências é criticada por Koponen (2007), para quem ambas as posições são pouco esclarecedoras quanto aos aspectos metodológicos e ambos os critérios (adequação empírica e noções de similaridade) são demasiado vagos.

A segunda visão considera os modelos como instrumentos conceituais que funcionam como mediadores entre as teorias e os objetos reais. Admite, portanto, distintos conceitos para teoria e para modelo. Representantes desta concepção, Morgan e Morrison (1999) destacam o funcionamento autônomo dos modelos, característica que possibilita que o processo de construção destes ocorra de forma independente da teoria ou dos dados, alternadamente. Para essas autoras, é o caráter autônomo dos modelos que os torna capazes de funcionar como instrumentos de mediação entre o campo teórico e o empírico.

Na mesma direção se encaminha o pensamento de Cartwright (1999), que classifica os modelos científicos em duas categorias. A primeira é a dos *modelos representativos*, aqueles que são construídos com ajuda das teorias na tentativa de representar sistemas reais e relações que se colocam na realidade (ou poderiam fazê-lo, em determinadas circunstâncias). Estes sistemas ou relações, argumenta a autora, não são representados por uma teoria, pois as teorias nos dão apenas relações abstratas entre conceitos abstratos. Daí a necessidade de modelos representativos para tratar situações específicas. Mas, em muitas teorias, quando se quer produzir modelos representativos é necessário utilizar um segundo tipo de modelo, os *modelos interpretativos*, que seriam aqueles que “... *são estabelecidos no interior das próprias teorias em seus princípios vinculadores*” (CARTWRIGHT, 1999, p. 180, tradução nossa.).

A compreensão de modelos como mediadores entre teoria e realidade, distintos ao mesmo tempo da primeira e da segunda instâncias, é compartilhada também por um dos mais destacados defensores do realismo crítico contemporâneos: Mario Bunge, físico e epistemólogo cuja contribuição para o problema dos modelos científicos tem sido amplamente reconhecida e, recentemente, empregada em diversas análises e reflexões no Ensino de Ciências (WESTPHAL; PINHEIRO, 2004; CUPANI; PIETROCOLA, 2002).

Pela profundidade da análise dos modelos desenvolvida por Bunge e também pela compatibilidade de suas concepções com o contexto da presente pesquisa, utilizaremos a teorização elaborada por este autor como referencial para os conceitos de modelo. A preocupação em valorizar o conhecimento científico como potencial gerador de explicações para o mundo, muito presente nas discussões contemporâneas sobre a construção de modelos no ensino, encontra também suporte na obra de Bunge, através de sua defesa do realismo crítico. Portanto, a compreensão deste autor, em nossa perspectiva, é ao mesmo tempo adequada para embasar possíveis transposições de considerações epistemológicas para o contexto da educação científica, e frutífera para avançar no entendimento de modelização para o ensino de Física.

A estreita ligação entre as considerações que serão feitas neste capítulo e um referencial epistemológico justifica-se pela especificidade das discussões sobre a construção de modelos, que têm sua essência no problema de como os conhecimentos científicos são capazes de produzir explicações para a realidade. Nesse aspecto, evocamos a asserção de Cupani e Pietrocola, para quem “(...) *para bem ensinar (e aprender) as explicações científicas é preciso conhecer de que forma a ciência pode explicar*”. (CUPANI; PIETROCOLA, 2002, p. 120).

É freqüente, principalmente em análises feitas sob a ótica do realismo crítico, a idéia de que a capacidade dos modelos em produzir explicações está ligada às operações de idealização e abstração. Nessa perspectiva, o que os modelos podem fornecer são descrições abstraídas e idealizadas do comportamento de sistemas reais, e não uma descrição exata tal como uma fotografia. Pela freqüência e pela importância destes termos, parece-nos conveniente apresentar uma conceituação das operações de idealização e abstração.

Abstração é o processo de seleção dos parâmetros ou variáveis do objeto real que serão considerados na elaboração do modelo, a partir de todos os parâmetros reais que seriam potencialmente relevantes (CHAKRAVARTTY, 2001). Um dos motivos pelo qual a abstração é necessária reside no fato de que, na maioria dos casos, a quantidade de variáveis

que de fato interferem no comportamento de um objeto real é excessivamente grande, o que tornaria qualquer teorização impraticável. Além disso, a influência de muitas destas variáveis pode ser negligível conforme as necessidades de acurácia do modelo.

Ao tratar quanticamente um átomo multieletrônico, uma aproximação possível consiste em levar em consideração as interações coulombianas entre cada elétron e o núcleo do átomo e entre cada elétron com todos os demais elétrons. Na mesma aproximação, desconsidera-se a influência que o movimento dos outros elétrons tem sobre cada um deles. Esta aproximação consiste em um exemplo de abstração e é adotada na teoria de Hartree. As duas exigências mencionadas (considerar a interação entre os elétrons e desconsiderar o movimento destes), apesar de parecerem conflitantes, são resolvidas matematicamente considerando que a soma de todas as interações define um potencial resultante esféricamente simétrico, que é a soma do potencial de Coulomb atrativo devido ao núcleo com o potencial repulsivo devido aos elétrons.

Para Chakravarty (2001), um ponto crucial na abstração é a idéia de que aqueles aspectos que foram escolhidos para figurar no modelo possuam correspondentes no objeto real. No exemplo da teoria de Hartree, são as interações coulombianas entre os elétrons e o núcleo do átomo. O fato de outros aspectos terem sido ignorados (neste caso, o fato de os elétrons atômicos *não* estarem em repouso) em nada altera a realidade daqueles que foram, efetivamente, escolhidos.

Idealização, por outro lado, é o ato de assumir determinados pressupostos que nunca poderiam ser obtidos (CHAKRAVARTTY, 2001). A hipótese segundo a qual o volume das moléculas é nulo, adotada no modelo do gás ideal, é um exemplo de uma operação deste tipo. Outro exemplo: em alguns modelos do sólido cristalino, supõe-se que os átomos ocupem posições fixas na rede cristalina. Nesses dois casos, não se trata de escolher quais os parâmetros a serem considerados, mas de simplificar a natureza dos parâmetros já escolhidos.

O conceito de modelo que iremos adotar nesta pesquisa localiza-se na perspectiva dos modelos como mediadores entre os domínios teóricos e empíricos e envolve os conceitos de abstração e idealização. Como mencionamos, esta compreensão (que será apresentada) de modelos é devida à Mario Bunge e tem sido amplamente empregada em análises voltadas ao ensino. Na seção seguinte, procuraremos apresentar a teorização deste autor a respeito dos modelos científicos.

1.1.2 A teoria bungeana dos modelos científicos

Mario Augusto Bunge, físico, filósofo e epistemólogo, nascido em Buenos Aires em 1919, doutorou-se em ciências Físico-Matemáticas pela Universidade de La Plata em 1952. É autor ou editor de mais de 50 livros, escreveu cerca de 500 artigos científicos e lecionou em diversas universidades européias e norte-americanas. Atualmente é professor de Lógica e Metafísica na Universidade McGill, em Montreal, no Canadá.

Para Bunge, nem toda investigação científica procura conhecimento objetivo. O conhecimento científico, o qual se caracteriza por ser racional¹¹, sistemático e verificável (por consequência, falível), é objetivo apenas no caso das ciências cujo objeto existe fora delas mesmas, isto é, as ciências que tratam de fatos. É o caso da Física, da Química, da Biologia, da Sociologia. São as ciências **factuais**. A Lógica e a Matemática Pura, por outro lado, criam, elas próprias, o seu objeto de estudo. Tratam de entes que não existem fora da mente humana, entes ideais. São chamadas pelo autor de ciências **formais**. Enquanto os enunciados das ciências formais são provados (demonstrados), das ciências factuais se lhes exige que sejam verificáveis pela experiência¹². A prova ou demonstração é final e definitiva, a verificação é sempre provisória.

Em vista destas distinções, o autor alerta para a necessidade de uma análise dessas ciências que seja também distinta (BUNGE, 1998). Os referentes das ciências factuais são objetos reais ou concretos (o autor usa freqüentemente o termo “**coisas**”¹³): estes objetos existem no sentido material, encontram-se em algum estado e são capazes de mudança. Os referentes das ciências formais, por outro lado, existem conceitualmente: estes objetos conceituais ou “**construtos**”¹⁴ são entendidos como uma criação mental (embora não sejam objetos psíquicos, como uma invenção ou uma lembrança). (BUNGE, 1980).

¹¹ Bunge (1985) distingue sete conceitos de racionalidade: conceitual, lógica, metodológica, gnoseológica, ontológica, avaliativa e prática. A *racionalidade científica* corresponde à aceitação de todas as sete racionalidades e é defendida pelo autor.

¹² “É importante advertir, com efeito, que a experimentação está longe de ser o único juiz das teorias factuais, ou sequer o último. As teorias se contrastam com fatos e com outras teorias [...] as teorias não se constituem do nada, mas sobre certas bases: estas a sustentam antes e depois da prova [empírica]; a prova, se tem êxito, provê os apoios restantes da teoria...” (BUNGE, 1998, p. 78, tradução nossa)

¹³ Termo original em espanhol: “*cosas*” (BUNGE, 1985).

¹⁴ Existem quatro classes de construtos: as *proposições*, que são construtos que podem ser avaliados quanto ao seu grau de verdade; os *conceitos*, que são as unidades com que se constroem as proposições; *contextos*, que são

Para Bunge, o esforço de teorização nos diversos campos de conhecimento é uma medida do progresso científico, mais do que a acumulação de dados, pois é através da construção de teorias que se torna possível a apreensão da realidade. Por si sós, porém, as teorias não fornecem esta apreensão, por serem abstrações produzidas pela razão humana. No extremo oposto ao da instância teórica, encontra-se o domínio empírico que, sozinho, é igualmente incapaz de promover um avanço em nosso conhecimento do mundo. Desta aparente dicotomia origina-se o papel mediador do modelo, entidade que propicia a interação entre teoria e realidade e que, deste modo, provê um incremento ao conhecimento científico.

Na perspectiva bungeana, o sujeito cognoscente não apreende o objeto tal como ele é, mas tal como ele é modificado por suas próprias operações (BUNGE, 1998, p. 23). Conseqüentemente, uma teoria científica não se aplica diretamente ao objeto real ao qual se refere, mas a uma *representação* desse objeto real. Essa representação é chamada por Bunge de *objeto-modelo*. Nas palavras do autor,

A conquista conceitual da realidade começa, o que parece paradoxal, por idealizações. Extraem-se os traços comuns de indivíduos ostensivamente diferentes, agrupando-os em espécies (classes de equivalência). Fala-se assim do cobre e do homo sapiens. É o nascimento do objeto-modelo ou modelo conceitual de uma coisa ou de um fato. (BUNGE, 1974, p. 13).

O objeto-modelo representa apenas parcialmente o seu referente concreto e fatalmente ignora alguns dos seus aspectos. A escolha dos aspectos relevantes será determinada pelo objetivo do investigador. Em todo caso, o objeto-modelo é inevitavelmente parcial e aproximativo. Embora seja uma versão idealizada e abstraída do objeto real, concebida de forma a representar apenas parte dos traços do seu referente, a construção dos objetos-modelo envolve operações que não são arbitrárias, mas sim objetivas, isto é, com uma intenção realista.

Para compreender, por exemplo, o comportamento de um gás confinado em um recipiente, começa-se atribuindo determinadas características a este objeto que, embora não sejam satisfeitas em um gás real, procuram apreender os aspectos essenciais. Uma primeira aproximação consiste em abstrair as variações de energia durante as colisões entre moléculas e também a ação das forças eletromagnéticas entre as moléculas, além de idealizar que o volume de cada molécula é nulo. Essas considerações fazem parte do chamado “modelo do gás ideal”, o qual, em nossa terminologia, é na verdade um objeto-modelo.

conjuntos de proposições formadas por conceitos com referentes comuns e *teorias*; que são contextos fechados com respeito às operações lógicas (BUNGE, 1980).

Assim, embora a ciência factual busque compreender objetos concretos, ela o faz criando construtos que os representem. Tais objetos-modelo, porém, nada dizem a respeito do *comportamento* de seus referentes concretos. Grosso modo, são apenas um conjunto de características atribuídas a esses referentes¹⁵.

É possível propor objetos-modelo cada vez mais sofisticados a fim de melhorar a aproximação com o referente real, mas não é possível testá-los a não ser que sejam incorporados em uma *teoria geral*¹⁶, dessa forma produzindo um *modelo teórico*. O modelo teórico, às vezes também chamado pelo autor de “*teoria específica*”, é, portanto, a mediação entre teoria geral e objeto-modelo, resultando em um sistema hipotético-dedutivo. Em suma, é por meio do modelo teórico que podemos representar o comportamento e os mecanismos internos do objeto-modelo a partir da teoria geral.

Assim, se um planeta é modelado como uma massa pontual ou como uma bola, não se diz muita coisa. Somente pela assunção posterior segundo a qual um tal modelo satisfaz certas leis, em particular as leis do movimento, que conseguimos uma porção do conhecimento científico (BUNGE, 1974, p. 35).

Apesar de aparecer com frequência menor, a designação “teoria específica” é tida pelo autor como mais adequada, porque explicita que se trata de uma teorização referida a um particular objeto-modelo. Ele a utiliza ao expor mais uma conceituação desta entidade, ao afirmar que “*toda teoria específica é, na verdade, um modelo matemático de um pedaço da realidade*” (BUNGE, 1974, p. 10). Por resultar do “encaixe” do objeto-modelo na teoria geral, o modelo teórico herdará deste o caráter parcial e aproximativo. Isso significa que esse modelo negligenciará alguns aspectos do seu referente real, empregando abstrações e idealizações. Mas, se o modelo em questão é demasiado simples para o problema que se tem, pode-se sempre complicá-lo, aproximando mais o objeto-modelo do seu referente real.

Assim, quando aplicamos a Mecânica Clássica ao movimento das moléculas de um gás ideal e calculamos a média desses movimentos sobre todas as moléculas (ou melhor, moléculas-modelo), obtemos um modelo teórico, que é a teoria cinética do gás ideal.

Este modelo teórico, confrontado com a experiência, fornece uma boa aproximação com o comportamento de um gás real em determinadas condições, mas não em

¹⁵ O “referente” é aquilo a que o construto se refere. Por exemplo, a temperatura é um construto que tem como referente os estados térmicos de algum sistema real.

¹⁶ As *teorias gerais*, como a Mecânica Clássica e a Teoria da Evolução, não se referem a coisas específicas, ao contrário, são potencialmente aplicáveis a qualquer parte da realidade a que se referem. Não podem ser, portanto, aplicadas diretamente aos objetos-modelo. Como consequência, as teorias gerais são incomprováveis, porque não é possível testá-las diretamente de forma empírica.

outras. Naquelas em que existe a necessidade de uma aproximação melhor, pode-se elaborar uma versão mais sofisticada do objeto-modelo, por exemplo, considerando o tamanho das moléculas e a influências das forças intermoleculares. Obtém-se assim o modelo teórico de van der Waals, o qual provê uma descrição um pouco mais próxima do comportamento real, ainda que bastante simplificada. A sofisticação do modelo teórico também pode ser realizada de forma inversa, isto é, mantendo o mesmo objeto-modelo e trocando a teoria geral. Assim, inserindo a idéia do gás ideal no arcabouço teórico da Mecânica Quântica ou da Relatividade Especial, é possível obter modelos quânticos ou relativísticos que fornecerão explicações mais aproximadamente verdadeiras em comparação àquelas obtidas por meio da Mecânica Clássica.

Embora possamos dizer que a teoria geral abrange um certo número de modelos teóricos, é incorreto afirmar, diz Bunge, que os modelos teóricos estejam contidos na teoria geral. É, antes, o contrário: o modelo teórico implica na teoria geral, isto é, o genérico se deduz a partir do específico (BUNGE, 1980). Em outras palavras: o modelo teórico não é uma decorrência lógica da teoria geral, senão por outro motivo, pelo menos porque o objeto-modelo não está contido, como vimos, na teoria geral. A idéia central do conceito de modelo teórico aparece também na obra de Morgan e Morrison, em uma discussão sobre o papel dos modelos na Ciência:

Leis gerais da Física, como as leis de Newton e a equação de Schrödinger, não são descrições de sistemas reais, mas parte da caracterização dos modelos, que por sua vez representam diferentes tipos de sistemas reais. Mas uma lei como $F=ma$ não define, por si só, um modelo de coisa alguma; adicionalmente temos que especificar funções de força, condições de contorno, aproximações, etc. Somente quando estas condições são acrescentadas, um modelo pode ser comparado com um sistema real. (MORGAN; MORRISON, 1999, p. 5, tradução nossa.)

Além do sistema hipotético-dedutivo e, portanto, teórico, o termo “modelo” aparece também na obra de Bunge em referência a representações esquemáticas visuais de uma coisa: o autor utiliza para estes a expressão “modelos concretos”. Desenhos, animações, diagramas simbólicos, maquetes, análogos materiais são exemplos de modelos deste tipo.

Uma representação pictórica não substitui o objeto-modelo do tipo conceitual, exatamente porque não pode fazer parte de teorias. Enquanto a primeira é útil principalmente por razões de natureza psicológica e didático-pedagógica, o segundo tem um poder de representação muito maior, por ser uma idéia teórica, uma “*idéia que se pode enxertar em*

uma máquina teórica a fim de pô-la a funcionar e produzir outras idéias interessantes” (BUNGE, 1974, p. 26).

Existem muitas espécies de modelos teóricos, distribuídas de acordo com a profundidade exigida pelos objetivos da pesquisa. No extremo da superficialidade temos as **caixas pretas** (BUNGE, 1974), providas apenas de entrada e saída e com objetivo exclusivamente de descrição e previsão do comportamento, sem se preocupar com o mecanismo interno do objeto ou evento real ou suposto como tal. Alguns exemplos de teorias¹⁷ representantes dessa abordagem são a cinemática, a termodinâmica, a óptica geométrica e a teoria da matriz do espalhamento.

Na extremidade oposta do espectro, encontramos modelos teóricos aos quais interessa obter uma compreensão do mecanismo interno (hipotético) da coisa e potencialmente prever efeitos inauditos. Bunge (1974) denomina tais teorias específicas de **caixas translúcidas**¹⁸. A dinâmica, a mecânica estatística, a óptica física e a teoria quântica hamiltoniana são representantes dessa abordagem. Entre esses extremos, encontramos modelos com níveis de profundidade intermediários, aos quais podemos nos referir como **caixas semitranslúcidas**¹⁹. O critério comparativo do grau de “negritude” das teorias está sempre no aspecto específico que está sendo considerado, isto é, “*ninguém poderia dizer que ‘x é mais fenomenológico que y’, mas, antes, ‘x é mais fenomenológico que y com respeito a z’*” (BUNGE, 1974, p. 78).

Abordagens do tipo caixa preta são ao mesmo tempo necessárias, porque são globais, simples e seguras, e limitadas, porque são sempre menos completas que suas correspondentes translúcidas, mais ricas, profundas e frutíferas.

Simbolicamente, a forma quantitativa de um modelo teórico que representa a interação do objeto ou sistema com seu ambiente pode ser representada como uma relação do tipo: $O = M.I$, na qual “I” se refere ao “estado inicial” do sistema (ou a entrada), “O” simboliza o “estado final” (saída) e M representa as propriedades do objeto ou sistema considerado (BUNGE, 1974).

¹⁷ Tanto as teorias gerais quanto os modelos teóricos podem ser interpretados pela noção de caixas. Bunge utiliza explicitamente ambos os termos (teoria e modelo) ao explicar e exemplificar as caixas. Isto se dá porque a idéia de caixas se refere a uma *abordagem*, e não a um particular objeto ou tema (BUNGE, 1974).

¹⁸ Teorias da caixa preta e caixa translúcida são também referidas por Bunge como *fenomenológicas e representacionais*, respectivamente.

¹⁹ Bunge discute e justifica alguns exemplos de teorias do tipo caixa translúcida no livro “Teoria e Realidade”. O autor argumenta, por exemplo, que o eletromagnetismo clássico é uma teoria semifenomenológica, pois, apesar de ser uma teoria não-mecânica, lida com a estrutura de seus objetos e fornece uma interpretação dos processos eletromagnéticos (BUNGE, 1974).

Quanto mais “escurecida” for a caixa, tanto menos interessa o significado de M. Nas teorias de caixa-preta, M será tão-somente um símbolo, uma razão de ligação entre O e I. Por outro lado, nas teorias de caixa translúcida, M representa o mecanismo, isto é, a constituição e a estrutura do objeto. Ou seja,

As teorias de caixa translúcida (...) contêm referências a processos internos descritos por meio de variáveis indiretamente controláveis, que não ocorrem na descrição da experiência comum: exemplos de semelhantes construtos hipotéticos são a posição do elétron, a onda, a fase, o gene e a utilidade subjetiva. (BUNGE, 1974, p. 69).

Em outros termos, podemos dizer que, nas teorias de caixa-preta, M representa uma variável interveniente, isto é, uma variável que medeia entre as variáveis independentes (O) e as variáveis dependentes (I). Nas abordagens do tipo caixa translúcida, por outro lado, M é um construto hipotético, e precisa ser imaginado mais que observado e medido.

A entropia é, na termodinâmica, uma grandeza que relaciona a quantidade de calor com a temperatura do sistema. Não há, nessa teoria, um referente concreto para a variável entropia. Tal referência é obtida com a Mecânica Estatística, teoria na qual a entropia é interpretada como uma medida da desordem microscópica de um sistema, um construto hipotético.

Na compreensão de Bunge (1974), o objetivo em longo prazo da teorização científica não é sintetizar a experiência, mas *interpretar a realidade*. Por isso, a constituição das caixas pretas é apenas um primeiro estágio na construção da teoria. Importa fazê-las evoluir para caixas translúcidas, do contrário, permanecem incompletas, porque a conquista teórica da realidade implica em “*uma explicação do inobservável e uma interpretação do observável em termos do inobservável*” (BUNGE, 1974, p. 89). Um exemplo de ampliação em profundidade obtida pela invenção de mecanismos em termos de inobserváveis é a substituição das teorias de ação à distância por teorias de campos, como no caso gravitacional e no eletromagnético.

Outro aspecto dos modelos na epistemologia bungeana que pode ser destacado é o caráter bi-direcional da construção dos modelos teóricos. Este aspecto está relacionado com o que Morgan e Morrison (1999) se referem como a *autonomia* dos modelos científicos. Observemos inicialmente a declaração destas autoras:

“É comum pensar que os modelos podem ser derivados diretamente da teoria ou dos dados. Contudo, se olharmos de perto o modo como os modelos são construídos, podemos começar a ver as fontes de sua independência. É pelo fato de não serem nem uma coisa nem a outra, nem somente teoria nem dados, mas tipicamente

envolverem algo de ambos (e, às vezes, elementos adicionais ‘externos’), que eles podem mediar entre a teoria e o mundo” (MORGAN; MORRISON, 1999, p. 11, tradução nossa).

É possível interpretar esta declaração à luz dos conceitos de Bunge. Supondo que, para um determinado problema científico, existam várias teorias gerais disponíveis, podemos obter diferentes modelos teóricos, quer implementado um dado objeto-modelo em diferentes teorias gerais, quer encaixando diferentes objetos-modelo em uma dada teoria geral. Assim, podemos obter diferentes modelos teóricos para descrever o comportamento de um gás se, mantendo a Mecânica Clássica, supusermos diferentes formas de partículas e leis de força diferentes. Inversamente, se imaginarmos o gás como uma multidão de partículas ligadas pelas forças de van der Waals, tal objeto-modelo produzirá modelos teóricos diferentes se for inserido na Mecânica Clássica ou na mecânica relativística (BUNGE, 1974).

Assim, distintas representações de um mesmo objeto real podem ser vinculadas a diversos referenciais teóricos a fim de produzir modelos teóricos diferentes: os modelos são, por conseguinte, entidades que não podem ser reduzidas a resultados empíricos nem a derivações diretas de teorias e cuja capacidade de fornecer conhecimento é, certamente, condicionada por esta característica.

É possível perceber que a concepção bungeana da construção e do caráter dos modelos científicos está em desacordo com a visão semântica das teorias, a qual foi mencionada na seção precedente. Naquela visão, como foi exposto, os modelos estão contidos no interior das próprias teorias. Para Bunge isto é falso, pois a construção de um modelo requer considerações que extrapolam o domínio da teoria. Esta noção é consistente com a perspectiva dos modelos como mediadores, também apresentada na seção anterior, e que tem como defensoras Morgan e Morisson (1999) e Cartwright (1999), entre outros.

Nesta seção esperamos, além de descrever a dinâmica da construção de modelos na perspectiva de Mario Bunge, esclarecer um pouco mais a idéia, já exposta na seção anterior, dos modelos como as entidades centrais na relação entre o conhecimento e a realidade. Pois, ao contrário das teorias gerais e dos objetos-modelo, os modelos teóricos são suscetíveis de verificação experimental, proporcionando assim a interação entre os domínios teórico (no qual estão contidas as abstrações e idealizações produzidas pelos sujeitos) e empírico.

1.2 REALIDADE FÍSICA E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Nos dias atuais, dificilmente se poderia negar a relevância do ato de modelizar na Ciência. De fato, considera-se hoje que os modelos e a modelização são parte integrante da cultura científica (GOBERT; BUCKLEY, 2000). As discussões a respeito do significado dos modelos na atividade científica remontam à década de 1960, com os trabalhos de Black (1962), Hesse (1966) e Suppes (1962). No campo educacional, contudo, o tema dos modelos só ganha destaque a partir da década de 1980, derivando principalmente dos trabalhos de Martinand (1986), Hestenes (1987) e Drouin (1988).

Assim, há mais de duas décadas, Jean-Louis Martinand destacou, em um artigo que se tornou muito conhecido, a importância da reflexão sobre os modelos como instâncias mediadoras fundamentais para a apreensão dos aspectos relevantes da realidade natural, tecnológica, econômica ou social (MARTINAND, 1986). Desde então, um número cada vez maior de pesquisadores da área de ensino de Ciências têm buscado ampliar a compreensão que temos sobre modelos e seus processos de construção e oferecer contribuições para o ensino, pois “... se as práticas dos cientistas envolvem elaboração de modelos, então é necessário que a educação em ciências trate também do tema modelos, seja em suas investigações, seja em suas práticas pedagógicas, formais ou informais” (COLINVAUX, 1998, p.9).

Disso resultou um grande número de artigos, teses, dissertações e demais trabalhos. Resultou, ao mesmo tempo, na criação de muitos termos e expressões para as diversas acepções da palavra “modelo” no contexto do ensino de ciências.

Por exemplo, Gilbert e Boulter²⁰ (1998) distinguem quatro categorias de modelos relacionados a essa área: *modelo mental* (representação pessoal e privada sobre um objeto ou sistema); *modelo expresso* (uma variante do modelo mental que é expressa pelo indivíduo através da ação, da fala ou da escrita); *modelo consensual* (um modelo expresso que foi submetido a testes por um grupo social e aceito coletivamente) e *modelo pedagógico* (construído para favorecer a compreensão de um modelo consensual).

²⁰ Em um trabalho posterior, os próprios autores ampliam esta categorização, acrescentando modelos históricos, curriculares, híbridos e modelos de ensino. Neste, Gilbert e Boulter também constroem tipologias referentes aos *modos de representação*: concreto, verbal, matemático, visual, simbólico e gestural (GILBERT; BOULTER, 2000).

A classificação destes autores não é, contudo, consensual. Krapas et al (1997), além de elaborarem outra classificação para os tipos de modelos²¹, evidenciam que o termo “modelo mental” é também usado com distintos significados. Além disso, existem casos nos quais nomenclaturas diferentes são empregadas para se referir à mesma entidade: por exemplo, Adúriz-Bravo e Morales (2002) utilizam a denominação “*modelo didático*” ao tratar daquele tipo que é chamado de modelo pedagógico²² por outros autores; com a mesma conotação, Justi (2006) se refere a “*modelos curriculares*”. Também Viau et al (2007) empregam o termo “modelo conceitual” em um sentido próximo ao dos modelos mentais e “modelo teórico” para se referir aos modelos da ciência.

As divergências entre tais abordagens certamente não se resumem a estas confusões terminológicas, mas alcançam o nível dos significados por trás das palavras. Ao analisar as obras mencionadas, constatamos que estas abrigam distintas compreensões do que seja um modelo no contexto do ensino. Em alguns casos, ocorrem apenas variações de ênfases: assim, alguns autores tratam os modelos como representações concretas, tais como esquemas, diagramas, maquetes; outros destacam o papel do tratamento matemático, com tabelas de dados, equações e gráficos, enfatizando o potencial preditivo dos modelos; ainda, outros entendem o modelo como uma entidade teórica que faz o papel de substituto da realidade (Drouin, 1988).

Porém, há casos nos quais as divergências são mais profundas e atingem a compreensão de modelos do ponto de vista epistemológico (por exemplo, os diferentes papéis atribuídos às analogias e metáforas por Hesse (1966) e por Bunge (1974)).

Esse panorama demonstra uma espécie de obstáculo que se impõe ao progresso da investigação sobre os modelos. Para Anne-Marie Drouin, “*esse conceito é, na verdade, muitas vezes usado de maneira contraditória ou abusiva, a ponto de ser considerado por alguns como uma simples moda*” (DROUIN, 1988, p.2). Embora seja possivelmente improvável que surja um conceito único para cada categoria, certamente a explicitação das convergências e divergências e a procura por uma conceituação mais compartilhada é questão das mais relevantes.

²¹ A classificação de Krapas et al inicialmente teve por base a de Gilbert e Boulter, mas os primeiros excluíram a categoria “modelo expresso” por não acharem necessário diferenciar este do modelo mental e acrescentam as categorias “meta-modelo” e “modelagem como objetivo educacional”.

²² Krapas et al distinguem modelo pedagógico no sentido amplo, que “inclui os processos de mediação didática” do sentido estrito, que por sua vez “*se refere à representação simplificada de uma idéia, objeto, evento, processo ou sistema (...) com o objetivo de facilitar a compreensão significativa, por parte dos alunos, destes mesmos objetos* (KRAPAS et al, 1997). É neste último sentido que diversos autores hispânicos utilizam a denominação “modelo didático”.

Evidentemente, as categorias mencionadas até agora se referem aos modelos como produtos, não obstante estes possam ser instáveis ou, pelo menos, modificáveis. Seria natural questionar, também, mais especificamente sobre os processos que se desenvolvem na construção desses modelos.

Observando a categorização de modelos esboçada anteriormente, é possível perceber a existência de três setores distintos aos quais precisaríamos nos reportar ao tentar entender esses processos: o setor das ciências da cognição (modelos mentais ou expressos), o setor epistemológico (modelos científicos, inseridos nos modelos consensuais) e o setor das interações didáticas (modelos pedagógicos ou didáticos).

Ao olhar novamente para a produção acadêmica que detém as preocupações com o processo de construção dos modelos, é possível notar, como já seria previsível, que este herda o caráter polissêmico do seu produto, o termo “modelo”. As distintas denominações encontradas (modelização, “modelação²³”, “modelagem²⁴”, “modelamento²⁵”) no contexto da pesquisa em Ensino de Ciências refletem, de certa forma, essa diversidade de abordagens.

Frente a esse cenário, nos sentimos impelidos a retomar as perguntas colocadas por Martinand no seu artigo de 1986: “*O que se faz modelizando? Em que isto contribui? Como isto funciona no pensamento científico?*” (MARTINAND, 1986, p. 46).

O aprofundamento de uma compreensão crítica nestas questões é tanto mais relevante quanto mais se estiver de acordo com Gilbert e Boulter (2000), para quem a educação autêntica em Ciência e Tecnologia precisa refletir a natureza das suas disciplinas progenitoras.

Nas páginas que seguem procuraremos articular algumas considerações com o objetivo de localizar convergências e das divergências entre as obras de alguns autores que se debruçaram sobre estes problemas. Inicialmente serão discutidas algumas compreensões sobre o conceito e a finalidade dos modelos e da modelização no ensino.

²³ Termo empregado por Greca e Santos (2005).

²⁴ O aparecimento deste termo é mais freqüente nas discussões relacionadas ao uso de ferramentas computacionais (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002) e à *modelagem matemática* (BASSANEZI, 2002). Todavia, Krapas et al (1997) referem-se à modelagem como o processo de construção de modelos de uma forma geral, indistintamente quanto à disciplina ou orientação teórica.

²⁵ Termo usado por Barbosa e Borges (2006).

1.2.1 Modelos na educação científica

Em uma perspectiva ampla, a Modelização se refere ao processo de elaboração de modelos ou à apropriação de modelos já construídos. Nesse sentido, parece haver certa concordância na concepção de diversos autores na área de Ensino de Ciências, que entendem a modelização como a construção de um caminho que conduza o estudante desde suas representações (modelos mentais) até aos modelos científicos. Para muitos destes autores, entre esses extremos deve existir a intermediação de um *modelo didático* (ZAMORANO et al, 2006; ADÚRIZ-BRAVO; MORALES, 2002; GILBERT; BOULTER, 1998; PINHEIRO, 1996).

Para Adúriz-Bravo e Morales (2002), tanto modelos científicos quanto modelos didáticos podem ser entendidos como representações do mundo que possuem lógica interna própria, relações de semelhança com os fenômenos e modos de expressão próprios. Os autores apontam que, apesar de situar-se em distintos níveis de representação, as duas categorias de modelos apresentam muitos pontos em comum, no que se refere à natureza, ensinabilidade e comunicabilidade.

É evidente que, para construir um modelo didático a partir de um modelo científico, um certo número de operações de transposição são realizadas. Algumas delas seriam:

... diminuir o grau de abstração, reduzir o número de variáveis, substituir o modelo atualizado por modelos aproximativos vigentes em outros momentos históricos, fazer analogias do modelo com situações mais conhecidas pelos alunos, utilizar metáforas que o expliquem (ADURIZ-BRAVO; MORALES, 2002, p. 83, tradução nossa).

A exemplo de Aduriz-Bravo e Morales (2002), numerosos autores relacionam o processo de elaboração dos modelos didáticos com as idéias de analogia e metáfora. Estas seriam os “tijolos” usados para construir uma *ponte conceitual* (GLYNN, 1995) – o caminho que supostamente conectaria os modelos dos estudantes aos modelos científicos. Nesse sentido são empregados tanto análogos conceituais (por exemplo, a conhecida analogia entre o sistema solar e o átomo de Rutherford) quanto análogos materiais (maquetes ou similares).

Para esclarecer um pouco mais sobre a concepção segundo a qual a modelização baseia-se no estabelecimento de relações analógicas e metafóricas, vejamos a proposição de Gilbert e Boulter (1998):

Um modelo (de qualquer um dos tipos acima) de um alvo (a ser representado) é produzido a partir de uma fonte (algum outro objeto, evento ou idéia) por meio de metáforas, nas quais o alvo é visto, ainda que inicialmente e por pouco tempo, como sendo muito similar à fonte. Aceitando a concepção interativa de metáfora, os elementos que compõem a fonte são projetados sobre o alvo. Aqueles elementos que parecem apresentar um valor evidente para representar o alvo são modificados para ajustar-se às circunstâncias especiais do alvo, por meio de uma analogia (GILBERT; BOULTER, 1998, p. 16).²⁶

Esta idéia, muito difundida nos últimos anos, segundo a qual analogias e metáforas são elementos básicos da construção de modelos (DUI; GLYNN, 1996; NERSESSIAN, 1995; ADÚRIZ-BRAVO; MORALES, 2002), é refutada, na perspectiva dos modelos científicos, por Mario Bunge, para quem o papel da analogia é *sugerir* a equivalência, sem, contudo, estabelecê-la. Embora possa ser fecunda, o reconhecimento da analogia é apenas um primeiro passo na constituição das classes de equivalência (BUNGE, 1974). Assim, o autor aponta que

A incapacidade de distinguir a analogia da equivalência deu origem à crença clássica, todavia errada, de que a analogia é a fonte da indução, por seu turno erroneamente considerada como o método da ciência (BUNGE, 1974, p. 198).

E, mais adiante, reforça este argumento:

Outro alçapão contra o qual devemos nos precaver é o ponto de vista corrente e em moda da teorização científica e explanação como sendo basicamente analógica ou metafórica. Sob este ponto de vista, o “modelo” hipotético-dedutivo de teorias científicas estaria errado: o núcleo explanatório de cada teoria seria uma metáfora, um modelo mais ou menos pictórico do seu referente que cumpre não apenas uma função heurística, mas também lógica (BUNGE, 1974, p. 198).

Pinheiro (1996), embora adote igualmente a modelização como um meio de aproximar as representações dos alunos aos modelos científicos, ao invés de empregar recursos analógicos, investe na *modelização de variáveis*, entendida como a construção das relações matemáticas concernentes a um problema concreto, por parte dos alunos e através de atividades experimentais.

²⁶ Os autores referem-se a todos os tipos de modelos descritos na categorização elaborada por eles próprios e já citada neste capítulo (introdução da seção 1.2). Assim, a descrição da construção de modelos feita por estes autores se refere, também, aos modelos científicos, tanto quanto aos didáticos.

Outro aspecto controverso da modelização é o papel atribuído ao aluno no processo. Enquanto alguns parecem entender a modelização com a *apresentação* de um modelo em classe, às vezes fazendo parecer que o modelo é um análogo material ou que a modelização é a simulação de um fenômeno (por exemplo, Krapas e Santos, 2002), para outros autores, modelizar implica em uma reconstrução do modelo na qual a participação ativa do aluno é imprescindível. Assim, para Zamorano et al (2006), em uma atividade de modelização,

... os recursos didáticos deverão ser escolhidos por seu potencial na transformação conceitual e ser apresentados como um convite a especulação, de tal forma que o aluno deve chegar a ser parte no processo de interpretação e elaboração de conhecimentos. A linguagem da educação não deve ser para o “consumo” de conhecimento mas um desafio para a criatividade, deve expressar atitudes e deixar margens para a reflexão e objetivação (ZAMORANO et al, p. 6, 2008, tradução nossa).

Drouin (1988) estabelece uma distinção que permite clarificar essa aparente dicotomia. Entendendo o modelo como um produto conceitual que faz o papel de substituto da realidade, esta autora define a modelização como o processo de *construção* (ou apropriação) de modelos, ou, em outros termos, o esforço para construir ou adquirir aquele substituto. Além disso, segundo ela, existe o “método de modelos”, que é um método centrado na utilização de um modelo, explorando as várias funções que este pode desempenhar. Este “método de modelos” *utiliza* modelos, no mesmo sentido em que o método experimental utiliza experimentos (DROUIN, 1998). Dessa forma a autora esclarece a existência de diferenças entre um processo de construção (a modelização) e um processo de utilização de modelos já construídos.

Ao mesmo tempo em que se discute o *significado* da modelização no ensino de Ciências, também está em jogo o problema das *funções* do ato de modelizar no ensino. Recorrendo à literatura da área é possível encontrar um amplo espectro de ênfases relativas às respostas desta questão, desde o potencial da modelização na simplificação de fenômenos e facilitação da visualização (GILBERT; BOULTER, 1998) até o favorecimento de uma compreensão da natureza da ciência, especialmente dos papéis da idealização e da aproximação na construção dos modelos científicos (PORTIDES, 2006).

A nosso ver, o problema inicial relacionado aos objetivos da modelização é: ela deve ser entendida como um método para o ensino de conteúdos previamente determinados ou como um objeto de ensino? Temos observado que, muitas vezes, esta distinção não

aparece de forma clara nos trabalhos encontrados na literatura, o que contribui para obscurecer os pressupostos de pesquisadores que têm investigado e refletido sobre a modelização.

Justi (2006) propõe três finalidades da modelização. Para essa autora, a modelização deve favorecer ao aluno *aprender ciência*, isto é, apropriar-se de modelos científicos; *aprender sobre ciências*, ou seja, compreender adequadamente a natureza dos modelos e o papel destes na investigação científica; e *aprender a fazer ciência*, no sentido de ser capaz de criar, expressar e comprovar seus próprios modelos. Ou seja, enquanto a primeira finalidade mencionada por Justi se refere à função de método, as outras duas dizem respeito à modelização como objeto. A segunda, em particular, é destacada por Martinand, para quem

A questão não é: qual é o melhor modelo para ensinar? Mas: como dar aos modelos manipulados suas três características essenciais: eles são hipotéticos; eles são modificáveis; eles são pertinentes a certos problemas, em certos contextos? (MARTINAND, 1996, tradução nossa).

Temos exposto até este ponto diferentes concepções sobre o que se entende por modelização e quais seriam suas finalidades no ensino. Falta-nos discutir a dimensão operacional, isto é, as compreensões sobre *como* conduzir uma atividade de modelização em situações de sala de aula. A exemplo das questões anteriores, nesta também é possível encontrar uma vasta diversidade de compreensões. Tão vasta, com efeito, que apenas um número reduzido pôde ser selecionado para a presente discussão. Não pretendemos, portanto, concluir sobre que métodos seriam mais ou menos adequados dentre os apresentados. Ao invés disso, gostaríamos de obter um panorama geral de como a dinâmica da modelização tem sido entendida em algumas vertentes.

É evidente que cada proposta de modelização é concebida de acordo com a particular concepção de modelo adotada por seu proponente. Assim, aqueles que entendem que o núcleo de todo modelo é uma analogia, terão um recurso analógico como principal instrumento de sua metodologia. Um exemplo é encontrado na proposta do modelo didático analógico:

A idéia básica para construir um modelo didático analógico é conhecer profundamente o tema que se quer ensinar, abstrair seus conceitos nucleares e as relações funcionais entre tais conceitos e traduzir tudo a uma situação, o mais inteligível possível para os alunos, proveniente da vida cotidiana, da ficção científica ou do senso comum. (GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001, p. 232, tradução nossa).

As autoras fornecem como exemplo uma atividade sobre o estudo de mecanismos de transporte no comportamento de células. Nela, os alunos são levados a associar certos mecanismos celulares com os meios de transportes de entidades retiradas do cotidiano, como um elefante (análogo à macromoléculas, que não podem ser absorvidas) ou um ladrão (análogo à vírus, que entram em um organismo enganando os sistemas de segurança), etc.

Krapas e Santos (2002) baseiam sua proposta de “modelagem” do espalhamento Rayleigh no recurso de simulação. O “alvo” do modelo, que é a cor azul do céu, é modelado simulando-o por uma “fonte”, que é a coloração azulada da água no interior de um cuba. A luz de uma lâmpada de projetor serve para simular a luz branca do Sol e os gases da atmosfera são simulados pelas partículas dissolvidas na água.

Em outra perspectiva, Guy Brousseau, criador de uma das mais importantes teorias da didática (a Teoria das Situações Didáticas), emprega a seguinte noção de modelo:

Um modelo é um caminho para um dado agente tratar determinado problema utilizando um repertório de conhecimentos ‘restrito’. O agente reúne deliberadamente um ‘universo representado’ e um ‘universo representante’. (...) a criação de um ‘candidato à modelo’ consiste em identificar certos objetos ou relações do universo representado e fazê-los corresponder a um objeto do universo representante. (BROUSSEAU; 2003a, p. 13, tradução nossa).

Para Brousseau (2003a), a modelização é desenvolvida para responder à uma questão ou a um problema, com ajuda de um repertório de conhecimentos. O esquema da modelização proposto por este autor é apresentado na figura 1.1. A resolução de uma situação S_1 requer a construção de um modelo M_1 com o auxílio do repertório de conhecimentos R_1 . M_1 é coerente com R_1 e adequado à S_1 . Uma perturbação nesse sistema pode ser, por exemplo, a inserção de um fato novo em S_1 , o que leva à passagem para uma situação nova S' . Outro exemplo seria a inclusão de um conhecimento ou de uma questão nova, levando à passagem do repertório R_1 para um repertório R' . Então se examina a consistência e adequação de M_1 . A confrontação às vezes pode levar à criação de um novo modelo M_2 e às vezes à criação de R_2 . Em outras ocasiões, pode levar à uma extensão ou redução de S_1 à S_2 (BROUSSEAU, 2003a).

Rodriguez (2003) aponta que, para Brousseau, a modelização é importante como um meio de fazer surgir novos conceitos, no qual os estudantes participam ativamente na construção dos modelos. Assim, Brousseau (2003b) enfatiza que a prática da modelização com os estudantes implica em um aumento da complexidade didática, porque requer a

substituição da consideração de um “saber a ensinar” por um conjunto de possíveis saberes e conhecimentos alternativos.

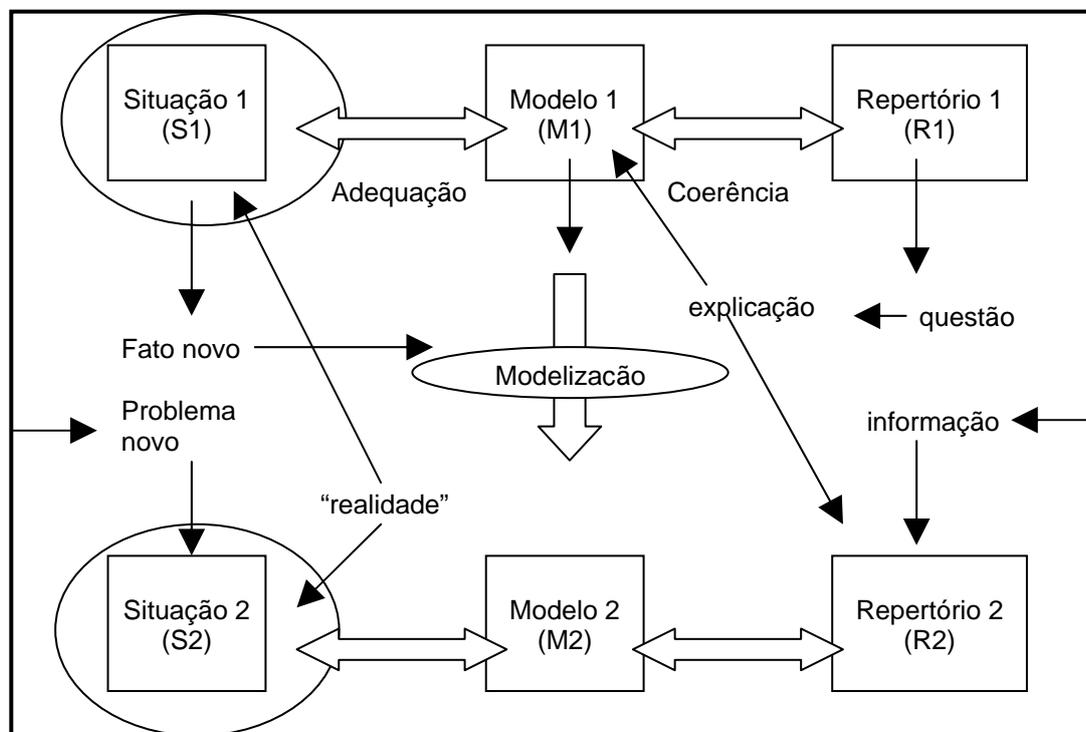


Figura 1.1. Esquema de modelização traduzido de Brousseau (2003a), p. 16.

Embora a teorização de Brousseau refira-se, a princípio, à modelização matemática, é de se esperar que exista similaridade com o caso da Física. Pois, resgatando a noção bungeana de modelos teóricos, é preciso reconhecer que um modelo matemático é, pelo menos, uma parte importante de um modelo físico. Recorrendo a Pinheiro (1996) é também possível encontrar uma proposta da modelização de variáveis, que contempla a modelização de conteúdos tanto de Matemática quanto de Física.

Nessa direção se encaminha também o trabalho de Saglam (2004) que, ao discutir a modelização, enfatiza a relação de reciprocidade entre essas disciplinas. A autora destaca que, embora um modelo físico não se reduza a conceitos matemáticos, ele se traduz com a ajuda destes últimos. A relação é recíproca porque os modelos físicos, neste ponto de vista, também poderiam servir para dar sentido aos conceitos matemáticos. A modelização é trabalhada, portanto, na perspectiva de Saglam, levando em conta a complementaridade entre Física e Matemática.

A obtenção de modelos matemáticos para fenômenos físicos é vista, no trabalho desta autora, a partir de dois possíveis processos para a construção de modelos. O primeiro é experimental: implica na aquisição e tratamento dos dados obtidos de um fenômeno físico. Equivaleria, em nosso referencial teórico, à construção de um modelo do tipo caixa-preta. A segunda abordagem é um processo teórico e consiste na obtenção de um modelo matemático a partir de uma teoria preexistente. Transpondo esta idéia para nossa análise, o processo teórico implicaria na constituição de um objeto-modelo como passo inicial da modelização.

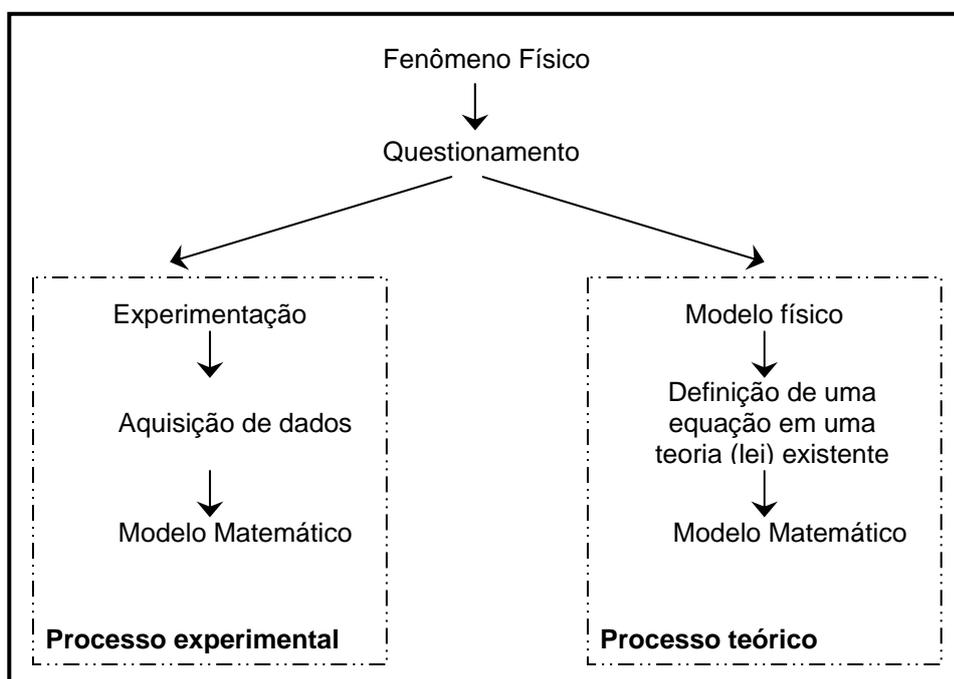


Figura 1.2. Apresentação dos dois processos de construção de um modelo matemático. Traduzido de Saglam, 2004, p. 9.

Esta relação de complementaridade entre os modelos físicos e matemáticos é também discutida em outro trabalho bastante recente. Rodriguez (2008) propõe uma organização, detalhando cada passo, para a modelização matemática e a expande, acrescentando mais etapas, para a modelização em Física. A relação entre ambas é tão estreita, diz Rodriguez, que durante a elaboração de sua proposta, foi muitas vezes difícil distinguir o que se referia exclusivamente à matemática e o que seria exclusivo ao domínio da Física. Exporemos aqui uma síntese da proposta desta autora. Uma representação esquemática desta proposta, adaptada a partir de Rodriguez (2008), é esboçada na figura 1.3.

Para Rodriguez (2008), o processo de modelização parte de uma situação da realidade, que pode ser apresentada de forma verbal, por uma ilustração ou por ambos. A situação é descrita e submetida à experimentação para obtenção de dados. Em seguida são feitas as interpretações do contexto do problema, buscando uma compreensão inicial da situação. Nessa fase, o aluno elabora uma reconstrução mental da situação, através de idealizações e simplificações que são, nesse nível, implícitas e, em certa medida, inconscientes. O aluno tem então a tarefa de representar esta reconstrução de modo a externá-la, por exemplo, fazendo um desenho ou um esquema da situação. Esta compreensão individual é denominada pela autora de **representação mental da situação (RMS)**.

O passo seguinte contempla a explicitação das simplificações e idealizações, expressando-as por meio de hipóteses feitas sobre a situação real. Esta etapa envolve a tomada de decisões que irão influenciar em como serão filtradas as informações sobre a situação. O produto desta etapa é a construção do **modelo pseudo-concreto (MPC)**. Ao se referir à modelagem matemática, a autora enfatiza que esta etapa poderá requerer o uso de conhecimentos extra-matemáticos (RODRIGUEZ, 2008).

O conceito de modelo pseudo-concreto é resgatado por Rodriguez do trabalho de Henry (2001). Este autor, ao considerar a descrição de uma situação real por meio de hipóteses com a intenção de elaborar um modelo, oferece a seguinte reflexão:

Esta descrição já é uma espécie de abstração e simplificação da realidade, uma vez que algumas escolhas são feitas, para reter apenas o que parece pertinente para esta situação em face do problema estudado. Esta descrição é também impulsionada por aquilo que eu chamo um olhar teórico, isto é, um tipo de conhecimento científico baseado em modelos gerais pré-construídos, para avaliar com precisão o que irá se revelar pertinente. Então, ela traduz esta descrição em um sistema simplificado e estruturado: é o **nível do modelo pseudo-concreto**. (...) deve-se identificar as hipóteses relevantes (...) essa construção é guiada por um primeiro nível de conhecimento sobre o fenômeno estudado (...) e por ferramentas matemáticas, já controladas (HENRY, 2001, p. 154 apud RODRIGUEZ, 2008, p. 35, tradução nossa).

É interessante notar a similaridade entre o conceito de modelo pseudo-concreto de Henry com o conceito bungeano de objeto-modelo. Apesar de não ser explorado na mesma profundidade, pelo menos no extrato retirado da tese de Rodriguez, é difícil não desconfiar que o MPC esteja assumindo o mesmo papel que o objeto-modelo assume na teorização de Bunge.

No que se refere ao modelo físico, a autora destaca a importância das codificações e convenções próprias do domínio físico. Enfatiza, também, que a elaboração do **modelo**

físico (MF) não é uma tarefa fácil para os alunos, pois se trata de interpretar as informações do modelo pseudo-concreto em termos da teoria física correspondente. No caso do exemplar descrito por Rodriguez (2008), que se refere ao funcionamento de um desfibrilador, esta etapa consiste da representação por meio de um circuito RLC.

A etapa seguinte consiste na transição entre MF e o **modelo matemático (MM)**. Trata-se de obter uma relação matemática entre as variáveis selecionadas do problema. Para isto, podem ser aplicadas leis físicas ao modelo físico obtido. No caso do exemplar, a lei de Ohm ou a lei das malhas de Kirchhoff são aplicadas para obter uma equação diferencial cuja resolução leva, na etapa posterior, aos **resultados matemáticos (RM)** que podem ser interpretados em termos físicos, pseudo-concretos e confrontados com a **situação real (SR)**, que, neste caso, refere-se à possibilidade de reanimação de um paciente hipotético.

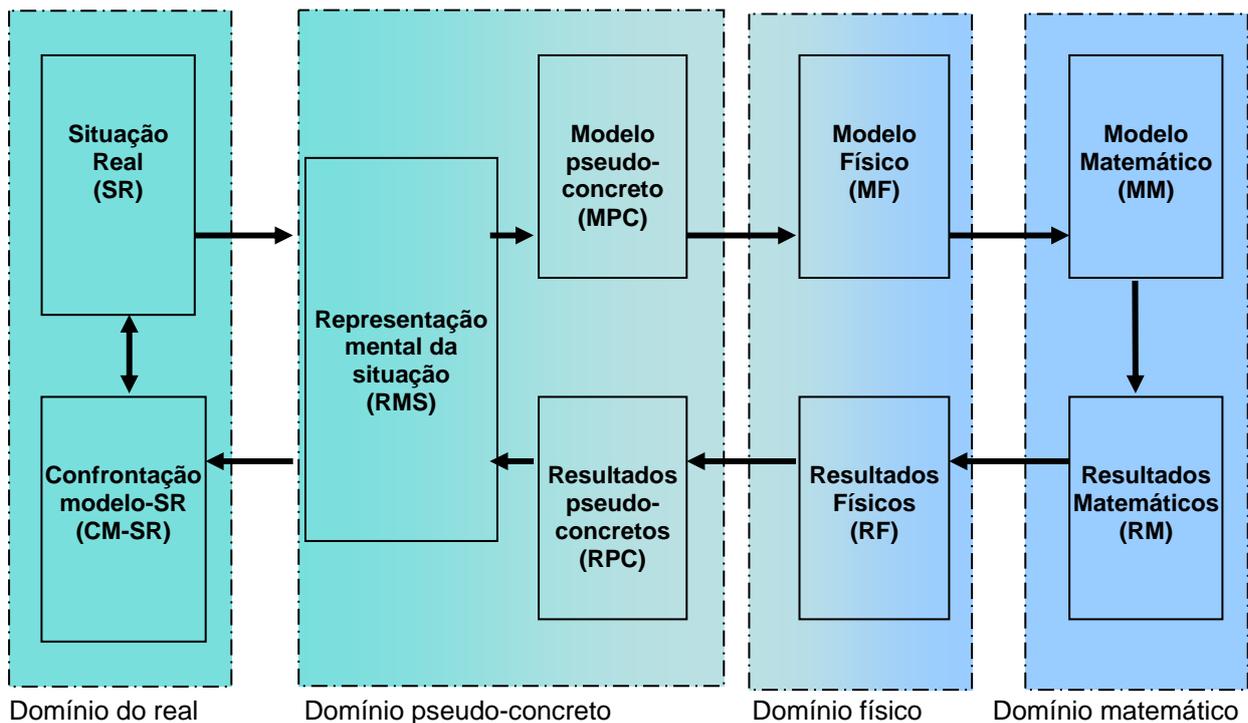


Fig. 1.3. Ciclo de Modelização adaptado de RODRIGUEZ, 2008. p. 15 e p. 135.

Em linhas gerais, é possível perceber que esta proposta se harmoniza com uma concepção de modelização que permeia, nem sempre de forma explícita, as discussões e propostas sobre o tema na literatura, principalmente as mais recentes. A razão disto é que a proposta contempla dois aspectos que têm surgido como os mais compartilhados entre a

comunidade de pesquisadores: a idealização e abstração dos objetos (modelo pseudo-concreto) e a obtenção das relações entre as variáveis (modelo matemático). Por exemplo, para Greca e Santos,

Na Física modelar uma situação envolve (...) expressar matematicamente as relações físicas entre os objetos idealizados para modelá-la, a partir dos supostos de um dado modelo; isso envolve uma completa idealização dos fenômenos e manipulação de entidades matemáticas abstratas que logo são traduzidas em entidades físicas relacionadas com os fenômenos (GRECA; SANTOS, 2005, p. 13).

Em sua essência, esta concepção é coerente com a teorização dos modelos de Bunge, a qual, como já foi dito, se refere aos modelos e sua construção no âmbito da Ciência. Este pode ser um indício, além de outros argumentos já expostos até aqui, de que a dinâmica dos modelos proposta por esse autor possa contribuir para o entendimento dos processos de modelização no ensino. Tomando isto como pressuposto, seria de se esperar a possibilidade de obter, à luz desta teoria, esclarecimentos relativos aos aspectos essenciais de uma modelização no ensino de Física. Esta questão será objeto da seção que segue.

1.2.2. Uma compreensão à luz da teoria bungeana

No texto introdutório desta dissertação, veio à tona o problema do distanciamento entre a evolução das pesquisas na área de ensino de Física e as práticas escolares. Vinculado a este, podemos identificar outro distanciamento desfavorável à qualidade do ensino: aquele que ocorre entre a maneira científica de colocar e enfrentar problemas e a maneira escolar de apresentar conteúdos. Enquanto a primeira se mantém como o caminho mais bem sucedido para a compreensão da realidade, os conteúdos de conhecimento escolares têm sofrido constantes derrotas frente às concepções de senso comum, no que se refere à sobrevivência pós-escolar média desses conhecimentos.

Ao introduzir a teorização de Mario Bunge acerca dos modelos científicos, um de nossos objetivos foi explicitar a relação de não-identidade entre os objetos da realidade e o conhecimento produzido pela Ciência. A nosso ver, essa relação fica bem estabelecida através do conceito bungeano de objeto-modelo. A interpretação dos objetos sobre os quais versam as teorias científicas como objetos-modelo parece deixar claro o papel fundamental do percurso de idealizações e abstrações que se desenvolve na obtenção dos conhecimentos científicos.

O ensino de Ciências, por outro lado, tem se mostrado inconciliável com essa compreensão, pois em geral apresenta unicamente o *produto* da investigação científica, já totalmente formalizado e abstraído. A questão que deu origem àquele conhecimento, quer esteja localizada em um objeto, quer em um evento da natureza, quando aparece, tem apenas o caráter de exemplo, ao qual será aplicado a resposta previamente exposta. Os resultados finais parecem ser tudo o que há para se aprender sobre a Ciência.

Matthews (1995) fornece um exemplo simples desta situação. Considera ele que, embora qualquer estudante aprenda, no decurso de sua vida escolar, a lei do isocronismo do pêndulo, provavelmente ninguém tem dúvidas de que um pêndulo qualquer, posto em movimento, eventualmente irá parar. Isto pode ser visto pelo estudante como uma evidência de que a teoria estudada não se relaciona com a realidade, pois o período da última oscilação não seria igual ao da primeira e, portanto, o pêndulo não seria isocrônico.

Como podemos conciliar a lei com a observação? Normalmente se diz: Esqueça o que vê e aprenda a lei. O que é uma forma mais sofisticada de se dizer: A ciência

não lida com esses tipos de pêndulos que você usa, mas sim com pêndulos ideais para os quais não há atrito e pressão e onde o fio não possui peso, etc. (MATTHEWS, 1995, p.182).

O exemplo de Matthews, entre incontáveis outros que poderiam ser citados, mostra como o distanciamento entre a maneira científica de colocar e resolver problemas e a maneira escolar de fazê-lo implica na desvinculação entre a realidade exterior e os conteúdos de conhecimento escolares. É no enfrentamento desse problema que surgem atualmente as discussões sobre a Modelização no ensino.

Como destacou Astolfi, “... os modelos científicos são em geral apresentados aos alunos *como a realidade diretamente interpretada* muito mais do que como representações construtivas, conscientemente reduzidas e calculáveis” (ASTOLFI, 1991, p. 105). Inverter esse quadro requer o entendimento da modelização como um meio de re-inserir a realidade na sala de aula, pois existiria, no processo de produção de modelos, a passagem progressiva do real-percebido (com origem no senso-comum) ao real idealizado (PIETROCOLA, 1999).

Uma conclusão direta que se pode inferir a partir da teoria bungeana é que a modelização não se aplicaria a todos os conteúdos de conhecimento científico, pelo menos não pelo processo que foi descrito. Assim, uma lei básica de uma teoria geral como $F = ma$ não é modelizável por um processo desse tipo, justamente por ser geral e não se referir a um particular objeto-modelo. Nenhuma informação empírica, sozinha, pode levar a concluir uma teoria generalizante como esta. Ou seja, apenas os modelos teóricos podem ser o ponto de chegada de uma atividade de modelização. Apesar da aparente obviedade desta observação, é importante que este aspecto fique claro, pois se trata de uma limitação da proposta que teria conseqüências sobre possíveis planejamentos.

Isto posto, interessa verificar mais de perto as relações entre os processos de obtenção de modelos teóricos. Na seção 1.2.1 foi mencionado o esquema de Saglam (2004), relativo à modelização matemática. Conforme foi exposto, a autora divide o processo de elaboração de modelos matemáticos em duas possíveis abordagens: experimental e teórica. A questão agora é saber se estas duas abordagens seriam adequadas também para o caso da Física.

Sobre esse ponto discorre Pietrocola:

Para o contexto do ensino de Física, uma modelização matemática precisa incorporar de forma explícita o domínio empírico, ou seja, envolver atividades experimentais. Uma boa atividade modelizadora deveria necessariamente se preocupar na passagem dos dados brutos contidos numa observação, até uma representação conceitual de um fenômeno focado. (PIETROCOLA, 2002, p.106)

Na perspectiva de Pietrocola (2002), portanto, a atividade experimental não é uma opção, mas uma exigência da modelização no ensino de Física. Por um lado, a consideração sobre a necessidade em contemplar o domínio empírico é coerente e, mais do que isto, decorre de argumentações que poderiam ser feitas com base no referencial teórico. Pois, ao ressaltar o processo de idealização e abstração como pilares da modelização, é forçoso admitir a presença obrigatória do objeto real, do contrário não teríamos o quê idealizar ou abstrair.

Por outro lado, um aspecto importante que poderia ser examinado a respeito da asserção de Pietrocola (1999) e que também tivemos a oportunidade de perceber em numerosas passagens nas obras de Bunge, é a aparente equivalência atribuída às idéias de “domínio empírico” e “experimentação”²⁷. Se a experimentação for entendida como uma atividade controlada, na qual o experimentador modifica deliberadamente as variáveis independentes e obtém valores para as variáveis dependentes, esta equivalência não pode ser sustentada do ponto de vista epistemológico, pois nem todos os dados empíricos com os quais a Ciência lida são obtidos através deste tipo de procedimento. Como exemplos de áreas da Física nas quais este fato é mais evidente, podem ser citados a Cosmologia, a Astrofísica e alguns ramos da Física-Matemática. No entanto, por nosso estudo do conjunto da obra destes dois autores, interpretamos as referências destes ao termo “experimentação” no sentido mais abrangente de domínio empírico, salvo indicação em contrário. De toda maneira, este é um importante ponto que precisa ficar claro na elaboração de alguma proposta, pois poderá gerar equívocos de interpretação em possíveis implementações.

Esta impossibilidade da alternativa puramente teórica para a modelização em Física é uma decorrência da diferença de estatuto epistemológico entre as ciências formais e as ciências factuais. Mesmo considerando que na ciência Física este procedimento – a obtenção de modelos pela via exclusivamente teórica – seja comum, principalmente no caso de modelos cosmológicos, ainda assim isto não invalida a argumentação de Pietrocola (2002), desde que seja considerada a observação do parágrafo precedente. Pois, mesmo nestes casos, os modelos construídos visam representar um referente concreto, do contrário não seriam científicos, mas ficcionais. Levando em conta que é justamente esta pretensão (representar a

²⁷ Aspecto percebido pelo prof. Dr. Demétrio Delizoicov, durante exame de qualificação desta dissertação.

realidade por meio de modelos teóricos) que constitui o cerne da modelização em Física, novamente se conclui pelo caráter imperativo do referente concreto.

Este aspecto demonstra que a modelização em Matemática e em Física não coincidem, pelo menos se considerada a perspectiva de Saglam (2004)²⁸. Os modelos matemáticos, cujos referentes são construtos, não requerem observações empíricas (muito embora possam se beneficiar com elas), do ponto de vista ontológico. Por exemplo, dada uma equação diferencial que é uma certa lei teórica como $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, basta fornecer a função (um ente matemático) que descreve \vec{F} e condições de contorno, na forma de valores, e se obtém o modelo matemático para um sistema específico. Do ponto de vista da obtenção deste modelo por meio de operações matemáticas, não é requerido que se atribuam significados factuais às variáveis; não é necessário que se postule a existência de forças, ou que sejam imaginados estados de movimento dos corpos.

Posto que a presença do domínio empírico é condição necessária, seríamos agora levados a questionar qual seria o papel das teorias gerais. Já vimos que elas não podem ser os pontos de chegada. Porém isto não significa que não estejam presentes de outra forma. Tampouco a asserção de Pietrocola (2002) implica na desconsideração das teorias gerais. Se o pressuposto epistemológico for o realismo crítico, então é evidente que não se estará assumindo que a representação conceitual deverá emergir somente do domínio empírico. A rejeição ao empirismo ingênuo já estaria contemplada, por uma parte, pela ênfase dada à elaboração do objeto-modelo, uma vez que este objeto não é observado, mas antes imaginado.

Nessa perspectiva, pode-se considerar o ato de modelizar como uma tentativa de apreender a realidade que compreende um processo criativo, tendo a racionalidade científica como instância mediadora. Nos termos de Bunge, poderíamos pensar nesse processo como a transposição de um objeto da realidade em um objeto-modelo, através de um percurso explicitado de idealizações e abstrações, e na exploração deste objeto-modelo com vistas a produzir um modelo teórico que represente seu comportamento.

Uma proposição de modelização baseada na teoria bungeana teria, portanto, duas etapas distintas, porém não totalmente separadas. Uma delas é a elaboração do objeto-modelo a partir da idealização de um objeto real dado. Tal elaboração consistiria em uma tentativa de

²⁸ Com isso quer-se dizer que as abordagens experimental e teórica, na modelização Física, não são mutuamente excludentes e sim complementares, como se verá mais adiante.

apreender os aspectos essenciais de um objeto real para formar uma imagem conceitual, que será o objeto-modelo.

É possível encontrar um exemplo simples de uma atividade de modelização na qual se desenvolve explicitamente a idealização de um objeto manipulado. Trata-se da atividade chamada “*Dominó*”, contida na proposta de Pinheiro (1996). O objetivo desta atividade é obter uma relação entre a altura de uma pilha de dominós e o número de peças empilhadas. Os alunos executam as medições, organizam uma tabela de dados e constroem um gráfico.

Nesta idealização, ou modelo construído, não é levado em conta as irregularidades originadas na fabricação das peças de dominó. (...) Com esse exemplo, aponta-se a vasta possibilidade de fatores que se encontram presentes em um evento e que a idealização não consegue dar conta de todos. A realidade é mais complexa do que o homem pode idealizar, por isso o modelo não necessita ser um espelho fiel da realidade. (PINHEIRO, 1996, p. 117).

O trabalho de Pinheiro (1996) fornece um exemplo da elaboração de um objeto-modelo em uma atividade de ensino. Este objeto não está na atividade experimental em si, mas nas questões que devem ser colocadas e nas discussões que devem ser provocadas na mediação feita pelo professor, conforme enfatiza a autora. Estas discussões devem contemplar explicitamente as idealizações e abstrações que são feitas.

Assim, ao solicitar aos alunos que listem as grandezas que podem ser atribuídas ao dominó e depois que procurem quais delas podem depender entre si, introduz-se uma escolha dos parâmetros do objeto real que serão considerados. Na escolha e traçado da “melhor curva” no gráfico, tem-se a oportunidade de discutir o significado do “dominó-modelo”, o padrão que pode representar o comportamento geral dos dominós, embora provavelmente nenhum dominó real tenha exatamente a altura do dominó-modelo. Além disso, o dominó-modelo permite “*imaginar quantidades de dominó que a atividade não oportuniza, como frações de um dominó ou milhares deles*” (PINHEIRO, 1996).

A outra etapa da modelização constituiria a obtenção do modelo teórico propriamente dito. Na atividade “*Dominó*”, o modelo matemático que se obtém é bastante simples e permite uma interpretação relativamente fácil das variáveis dependente (a altura da pilha), independente (quantidade de peças) e da variável interveniente – neste caso, a espessura do dominó-modelo – que é obtida pelo cálculo da tangente.

Isto, porém, não se aplica à maioria das situações em Física. Para exemplificar, imagine-se a realização deste mesmo procedimento – atividade experimental, organização da tabela de dados e construção de um gráfico – para um evento físico, como a oscilação de um pêndulo. Medidas do período de oscilação de um pequeno objeto amarrado a um fio, em função do comprimento, produziram a curva de uma função do tipo raiz quadrada: representando o período por T e o comprimento do fio por ℓ , obter-se-ia uma equação do tipo $T = \zeta\sqrt{\ell}$, na qual ζ representa a variável interveniente.

Em uma perspectiva exclusivamente matemática, a única dificuldade adicional é a possível não-familiaridade, por parte dos alunos, com a curva desta função. Embora seja conteúdo do ensino fundamental, é possível que a curva não seja reconhecida, ao menos de imediato, pelos alunos.

Se, por outro lado, se pretenda uma modelização física deste evento, uma nova dificuldade aparece. Pois, do ponto de vista do ensino de Física, não é apenas da equação acima que os alunos devem se apropriar. Um problema está em ζ - que não pode ser interpretada *apenas* como uma variável interveniente.

O modelo obtido, expresso na forma daquela equação, corresponde a um modelo do tipo caixa-preta. Não se pode encontrar uma expressão fisicamente interpretada para ζ a menos que se comece a perguntar sobre o que provoca esse movimento, isto é, uma interpretação da realidade percebida. Pois, enquanto a descrição e a previsão do comportamento do sistema são bem servidas por um modelo deste tipo, o mesmo não se pode dizer quanto a explanação. Uma compreensão adequada do ponto de vista da Física requer que se explique o significado de ζ e, para Bunge,

Isto não é apenas um requisito psicológico, uma necessidade de satisfazer a exigência de entender o que foi acuradamente descrito. É um requisito científico: as teorias de caixa negra são *incompletas*, uma vez que deixam os conteúdos da caixa no escuro. (BUNGE; 1974, p. 74)

Obter um modelo fisicamente adequado para este fenômeno implica recorrer às teorias gerais e realizar novas abstrações e idealizações. Como no exemplo da atividade “Dominó”, é fundamental que o encaminhamento didático dado pelo professor, na forma de perguntas a serem feitas e discussões a serem provocadas, oportunize a percepção das grandezas mais relevantes do pêndulo – a massa do objeto suspenso e o comprimento do fio. Com isso se elabora um objeto idealizado – o pêndulo simples, constituído por um fio

inextensível ligado a uma massa pontual – que poderá então ser imaginado como obedecendo às leis gerais do movimento dos corpos, dadas pela mecânica de Newton. No decurso dessa *modelização teórica*, precisariam ainda ser discutidas as abstrações que são feitas, por exemplo, a consideração de que a gravidade é a única força que age sobre o pêndulo, etc.

Assim, a teoria geral seria um elemento necessário para se obter a expressão completa²⁹, que contém a mais uma variável “interna” (neste caso, considerada constante) g , que por sua vez dá a interpretação deste comportamento pela força gravitacional (um construto hipotético). Ela permitiria “diminuir a opacidade” da caixa, pois forneceria uma explicação do “mecanismo”. Além disso, ao permitir o cálculo da aceleração da gravidade utilizando explicitamente e ao mesmo tempo o modelo teórico e o empírico, oportunizaria uma discussão sobre a interação entre a teoria e a experimentação na produção de conhecimento.

O aluno como modelizador, em uma proposta de inspiração bungeana, poderia ser então visto como um construtor de caixas-pretas que, pela mediação do professor com as teorias gerais, deveria ser instigado a aumentar a “quantidade de luz” que atravessa as caixas. A modelização experimental e a teórica não seriam duas alternativas separadas, mas faces da mesma moeda. Pois, a modelização no ensino de Física não se reduz à modelização Matemática, muito embora a última seja indispensável à primeira. Os modelos teóricos são sistemas dedutivos porque são equações matemáticas no que diz respeito à sua forma. Mas, são também hipotéticos, posto que se referem a objetos-modelo.

Levando em conta a concepção bungeana de modelos científicos, as reflexões de Pietrocola e os exemplares de Pinheiro (1996), além do exercício com o pêndulo simples, poderíamos vislumbrar o seguinte quadro para a modelização no ensino de Física.

Após as etapas de contextualização, problematização, etc., a partir do momento em que se tenha um problema claramente formulado, promove-se uma discussão sobre possíveis estratégias para resolver o problema e as expectativas (ou hipóteses) em torno das possíveis soluções. O professor direciona a discussão à atividade de modelização que propõe. Os componentes básicos desse tipo de atividade são desenvolvidos detalhadamente em Pinheiro (1996). Em síntese, o objetivo é obter um modelo do tipo caixa-preta que descreva, na forma de uma equação, o comportamento do objeto ou evento real focado.

²⁹ No caso do pêndulo simples, $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$.

Ao mesmo tempo em que cria o problema da necessidade de uma explicação para a variável interveniente, a elaboração da caixa-preta pode promover certa familiarização com o objeto real, preparando o terreno para o momento da idealização. Assim, para a elaboração do objeto-modelo, é necessário que o professor direcione a atenção dos alunos para os aspectos-chave do objeto real. Isto pode ser feito, por exemplo, apontando diversos outros objetos que sejam diferentes daquele que está sendo modelizado, mas que tenham aspectos-chave comuns. Outra maneira é comparar as características do objeto entre si, por exemplo, observando que o diâmetro de um fio é muito pequeno se comparado ao comprimento. Também se pode comparar as características do objeto em relação ao problema que se pretende responder. No caso da atividade dominó, por exemplo, notar que o comprimento de cada dominó não interfere na altura da pilha. Enfim, o tipo de argumentação que pode ser utilizada na elaboração do objeto-modelo é altamente dependente do particular objeto ou relação que se pretende modelizar. O que é importante é que as idealizações e abstrações feitas nesta etapa levem a um objeto-modelo que seja tratável por uma teoria geral.

A elaboração do objeto-modelo de certa forma se superpõe entre a modelização experimental e teórica. Porque, como este é um objeto mental, imaginado e não observado, obtido a partir de determinadas argumentações e considerações racionais, ele não é “deduzido” a partir da experiência. Por outro lado, o objeto real é o referente do objeto-modelo. O segundo é feito com a intenção de descrever o primeiro. É feito, neste sentido, a partir do objeto real, embora não “extraído” deste.

Mais especificamente, pode-se dizer que o papel da experimentação na elaboração do objeto-modelo é, principalmente, heurístico. Este construto é, como se vem argumentando, inventado. Requer, portanto, que se abra espaço para a imaginação, pois é preciso reconhecer que “... nenhuma dupla coluna de dados de entrada e saída jamais aponta de maneira inambígua para o mecanismo simbolizado por ‘M’” (BUNGE, 1974, p. 73).

A inserção do objeto-modelo construído dentro da teoria geral correspondente visa proporcionar um modelo do tipo caixa translúcida, que forneça a interpretação da variável interveniente em função do “mecanismo interno” da caixa, ou, em outras palavras, de uma explicação para o porquê do comportamento observado. É neste sentido que Gurgel e Pietrocola (2005) se referem à “mecanicidade” dos modelos³⁰. Normalmente essa explicação

³⁰ No trabalho citado, estes autores verificaram que a mecanicidade é um dos fatores que contribuem para a aceitação de um modelo explicativo, a partir de uma pesquisa realizada com alunos do Ensino Médio.

se dá em função de inobserváveis³¹, como o campo, o elétron, uma força, etc. e reforça o caráter hipotético dos modelos. A obtenção do modelo teórico por esta via se aproxima do que Saglam (2004), no contexto da matemática, denomina “processo teórico”. O modelo teórico assim obtido poderia ser comparado ao modelo caixa-preta, não apenas para verificar a coerência e explicar o mecanismo interno, mas também para se discutir a possibilidade de obter um conhecimento novo, tal como no exemplo do cálculo da aceleração da gravidade.

Para Larcher (1996) segundo Pinho Alves (2002), a modelização no ensino pode ser usada tanto quando novos conhecimentos são apresentados, como quando os alunos já têm os conhecimentos necessários. No exemplo do pêndulo simples, como foi mencionado, algum conhecimento teórico prévio é requerido, já que se utiliza a segunda lei de Newton. Seja qual for o caso, é previsível que em qualquer modelização teórica sejam necessários conhecimentos adicionais. Pois, como já foi discutido, as teorias gerais não são modelizáveis por um processo do tipo que está sendo discutido aqui. Isto, porém, não nos parece uma restrição, visto o pequeno número de teorias gerais trabalhadas na educação básica. Durante todo o primeiro ano do Ensino Médio, por exemplo, trabalha-se com uma única teoria geral. Também não é verdadeira a idéia de que, ao se ensinar uma teoria geral, está-se por definição ensinando seus modelos correspondentes. A falsidade desta afirmação não se justifica apenas por questões de ordem didática (pois não seria razoável esperar que alunos iniciantes deduzissem modelos teóricos sozinhos), mas também, e principalmente, de ordem epistemológica (como discutimos, os modelos não estão contidos nas teorias, mas são obtidos ao se inserir na teoria um terceiro elemento, a saber, o objeto-modelo).

É bom enfatizar que as considerações precedentes não configuram de forma alguma um roteiro ou manual, nem mesmo uma metodologia fechada. É um modo de conceber a modelização. Nem todos os momentos de uma aula ou conjunto de aulas foram discutidos, porque não era este o objetivo. O momento de problematização, por exemplo, que é anterior à modelização, não foi objeto dessa discussão. Também não nos preocupamos com as possíveis formas de ensinar as teorias gerais. O recorte no qual se insere esta discussão inicia após a formulação de um problema e finda com a discussão sobre as relações entre o modelo empírico e teórico, voltada à passagem progressiva dos dados brutos aos conceitos idealizados.

Também é necessário esclarecer que uma modelização deste tipo não é uma metodologia geral, pelo contrário. Apesar de não termos analisado uma grande quantidade de

³¹ Elementos que não são diretamente observáveis.

exemplos, é bastante previsível que haja dificuldades e até impossibilidades em trabalhar determinados conteúdos com este encaminhamento. Conteúdos modelizáveis seriam aqueles para os quais se poderia construir, em uma situação de sala de aula, um modelo empírico e um modelo teórico, o que nem sempre é possível, devido a uma série de fatores.

A modelização na perspectiva que está sendo colocada tem um enfoque muito específico, que é a exploração do aspecto processual da Ciência, em particular da relação entre as teorias científicas e a realidade. O pressuposto fundamental é que a passagem progressiva do real percebido ao real idealizado possa contribuir para minimizar distorções como o exemplo de Matthews (1995) citado no início dessa seção. O esboço delineado aqui é uma “aproximação de ordem zero” a partir da teoria bungeana, mas ainda assim já delimita alguns aspectos necessários à modelização que o distinguem de outras propostas que podem ser encontradas na literatura.

Assim, não se procurou preencher todas as lacunas. Em lugar disso, propôs-se uma compreensão para o conceito de Modelo (um sistema hipotético-dedutivo), que respeita ao referencial teórico adotado e, com isso, se distingue de outras interpretações de modelo, como aquelas relacionadas a simulacros, analogias e maquetes. Propôs-se também uma compreensão de aspectos essenciais de uma Modelização fundamentada neste conceito de modelo e articulada com considerações de outros autores, também inspirados neste referencial.

Tem-se a expectativa, contudo, que estas proposições sejam suficientes para suprir seu objetivo nesta dissertação, a saber, fornecer um quadro teórico que auxilie na elaboração de categorias de análise para os conceitos de Modelo e Modelização expressos pelos sujeitos desta pesquisa.

Para sintetizar, enfim, nosso entendimento de modelização, podemos destacar que o que se esperaria de tal atividade é que ela forneça condições de evidenciar que o conhecimento científico *“não é apenas experiência, porém teoria mais experiência planejada, executada e entendida à luz de teorias”* (BUNGE, 1974, p. 10).

CAPÍTULO II. CONHECIMENTO, REALIDADE E A FORMAÇÃO DO PROFESSOR

A formação do professor de Física consiste atualmente em um desafio de grandes proporções, cujo enfrentamento pode ser objeto de análise através de diferentes ângulos. Uma das especificidades do processo formativo do professor se encontra na existência de um conjunto de pré-concepções que qualquer sujeito escolarizado possui acerca do ato de ensinar, baseando-se em suas próprias vivências. Outra peculiaridade pode ser percebida na complexidade do conhecimento a ser veiculado por este profissional, em particular a relação entre este conhecimento e seu referente, isto é, a realidade física. Nas próximas páginas, buscaremos inicialmente problematizar este desafio e descrever uma alternativa de enfrentamento, desenvolvida no contexto dentro do qual ocorre a presente investigação. Esta alternativa consiste na proposta de elaboração de Projetos Temáticos, que vêm sendo implementada há cerca de nove anos na disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física.

No decorrer deste capítulo, procuraremos aproximar gradativamente a problemática geral da modelização no ensino da Física ao caso específico do problema que será tratado, o qual se encontra na intersecção entre o conjunto de problemas relativos à formação do professor de Física e o conjunto de problemas em torno da questão sobre a relação entre teoria e realidade, sintetizada na modelização. Adiante serão apresentados os pressupostos teóricos que fundamentam as escolhas metodológicas que nortearam a investigação empírica, bem como os procedimentos desenvolvidos para a tomada e análise de dados.

2.1. UM PROBLEMA EM ABERTO

Em contraste com a concepção corrente segundo a qual o conhecimento é adquirido pela construção de modelos sobre a realidade, os quais são teóricos, hipotéticos, aproximativos, aperfeiçoáveis e referidos a objetos idealizados, na prática escolar ainda se estabelece uma relação de identidade entre objetos e o conhecimento sobre estes produzido. Esta relação é bastante evidente ao olhar atento sobre textos e problemas escolares de Física. Massas pontuais, fios inextensíveis, superfícies sem atrito, oscilações em ângulos muito pequenos, raios luminosos, etc., são tratados, freqüentemente, como se espelhassem diretamente a realidade. Propriedades como a elasticidade, por exemplo, tornam-se tão marcadas pela representação tradicional que não seria de estranhar se os alunos não conseguissem relacioná-la com qualquer outro objeto real que não seja uma mola.

Os conhecimentos veiculados em sala de aula, já partindo destas idealizações, levam muitas vezes a conclusões contrárias ao que o estudante percebe em seu universo vivencial, de maneira que o senso comum parece mais capaz de operar sobre a realidade em comparação ao conhecimento científico (PIETROCOLA, 1999). Assim, ao invés de fazer uso dos modelos como construções hipotéticas, o aluno acaba por atribuir-lhes um sentido dogmático (MARTINAND, 1986).

Não se trata de criticar o processo de idealização e abstração da realidade em si, mas justamente a supressão deste aspecto processual da Ciência no que tange seu ensino. Esta visão distorcida da relação entre o conhecimento e a realidade pode ser entendida, sob nosso ponto de vista, como consequência da tradição de ensinar somente os produtos da Ciência em detrimento de seus processos de construção. Nesse sentido, diversos autores têm apontado para uma das raízes do problema na formação inicial de professores, tida como pobre neste aspecto (VIAU et al, 2007; ZAMORANO et al, 2006; JUSTI; VAN DRIEL, 2005). Para Labarrere e Quintanilla,

“O problema está em assumir os modelos teóricos de maneira reducionista, sem conectar suas entidades e conhecimentos fragmentados, pensando que seja o estudante (professor em formação) quem construa essas relações entre eles, o que é impossível porque nunca o ensinamos como fazê-lo e quando, finalmente, processa essa contrastação, não consegue resolver as incoerências e vicissitudes que se lhe apresentam como profissional em formação e supostamente em “desenvolvimento contínuo” (LABARRERE; QUINTANILLA, 2005, p.3, tradução nossa).

Para Viau et al (2007), o desconhecimento ou a inaptidão dos professores em trabalhar com a construção de modelos está relacionado à falta de conteúdos de epistemologia nos programas dos cursos de licenciatura. Na mesma direção, Islas e Pesa (2003) investigam a concepção de professores em exercício e em formação sobre modelos científicos e concluem que esta difere do significado atribuído aos modelos pela comunidade científica e na literatura do ensino de Ciências e da epistemologia da Física. Na pesquisa destas autoras, os entrevistados manifestaram a idéia de modelo como uma cópia da realidade e explicitaram também a crença de que a construção de modelos é uma atividade relacionada a *alguns* tópicos de Física, não a sua totalidade. As pesquisadoras observam ainda que não foram detectadas diferenças significativas entre as concepções de professores em exercício em comparação àqueles em formação: aparentemente, a atividade docente e os cursos de atualização ou aperfeiçoamento não estariam contribuindo neste aspecto, o que torna ainda mais relevante a ocorrência destas discussões na formação inicial.

Esta interpretação é reforçada também pelas análises de Medeiros e Bezerra Filho (2000), quando estes investigam algumas crenças de professores universitários que tenham lecionado a disciplina “Instrumentação para o Ensino de Física” e professores secundários que tenham passado pela mesma: concluem que as posições epistemológicas predominantes nestes dois grupos eram, essencialmente, o indutivismo e realismo ingênuos.

“Diante do conservadorismo denotado na visão de uma parcela dos professores entrevistados, não seria de se esperar, da parte dos mesmos, algo muito diferente de um processo de inculcação ideológica indutivista no tocante à produção do conhecimento” (MEDEIROS; BEZERRA FILHO, 2000, p. 115).

Observando este direcionamento na formação inicial dos professores, é previsível que ocorram distorções na imagem de atividade científica que estes carregam e disseminam, a exemplo da constatada na pesquisa de Islas e Pesa (2003). Observa-se, assim, uma tendência a perpetuar mitos como o da descrição exata da realidade, do experimento crucial, da neutralidade do sujeito, etc. Em nossa interpretação, muitos destes mitos e distorções estão igualmente ligados à supressão do aspecto processual do conhecimento científico, que se verifica no contexto escolar.

A construção de modelos, tão negligenciada no ensino de Física, em nossa compreensão pode ser vista como a essência da relação entre o conhecimento teórico e a realidade empírica. A desconsideração deste processo no contexto escolar implica, portanto,

em reproduzir visões distorcidas como as mencionadas no parágrafo precedente. Alterar este cenário representa um grande desafio para a educação científica e

Só parece capaz de realizar esta tarefa o educador que puder aliar bons conhecimentos sobre o conteúdo que ele pretende ensinar com sólidas formações nos domínios didático-pedagógico e epistemológico. Desta forma, se torna necessário entender os processos de produção da ciência, assim como as características e estatuto do conhecimento por ela produzido. (CUPANI; PIETROCOLA, 2002, p. 117)

Medeiros e Bezerra Filho (2000) percebem a disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física como cenário privilegiado para intervir no processo formativo do professor com o intuito de explorar uma abordagem mais adequada da relação entre empiria e teoria. No caso do curso de licenciatura da UFSC, como já foi discutido na Introdução, se trata de um enfoque diferenciado e que traz, no seu conjunto, esta preocupação. Assim, constitui-se uma tentativa de enfrentar problemas que fazem parte da formação do professor de Física, entre eles a questão da construção de modelos com fins didáticos. É nesta direção que buscaremos oferecer uma contribuição ao problema por meio da presente investigação.

2.1.1 Instrumentação para o Ensino de Física e sua história na UFSC

A obrigatoriedade da Instrumentação para o Ensino de Física como matéria nos cursos de licenciatura em Física é legalmente estabelecida na Resolução de 17 de novembro de novembro de 1962, fixada pelo Conselho Federal de Educação. Como componente curricular, esta matéria pode ser distribuída em uma ou mais disciplinas.

Dada a omissão deste documento no que se refere a quaisquer especificidades na forma do currículo ou nos conteúdos a serem tratados, não faltou espaço para diferentes interpretações do título “Instrumentação para o Ensino” nas décadas que se seguiram. Assim, a simples análise de ementas e planos de ensino de cursos de licenciatura de algumas instituições de Ensino Superior no Brasil evidencia diferenças significativas no que se refere à carga horária e aos conteúdos e objetivos da matéria. Em muitos casos, ela tem o caráter exclusivamente instrumental, ou seja, tem como função preparar o futuro professor com equipamentos e a parte experimental.

Não prolongaremos a discussão acerca das disparidades de interpretação da matéria nas distintas instituições, apenas registramos aqui a existência de finalidades gerais apregoadas pela legislação mais recente convivendo com essas diferentes visões das particularidades da disciplina de Instrumentação para o Ensino.

Na visão de Rezende Junior (2006), as novas diretrizes para a formação de professores não devem trazer mudanças para este contexto.

Recentemente, em função da movimentação para reestruturação dos PPPs dos cursos de licenciatura e respectivas estruturas curriculares no sentido de uma adequação à resolução 01/2002 – CP/CNE, de 18/02/02, que institui as *Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores de Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena*, e da resolução 2/2002 – CNE/CP de 19/02/02 que institui *a duração e a carga horária dos cursos de licenciatura, de graduação plena, de formação de professores da Educação Básica em nível superior*, **é previsível que diferenças ainda maiores quanto a estruturação dos cursos devam ser notadas.** (REZENDE JUNIOR, 2006, p. 138, grifo nosso.)

Buscaremos nessa seção expor mais detalhadamente o quadro das preocupações dos docentes responsáveis pela matéria na UFSC, bem como os referenciais teóricos que têm norteado as ênfases desta. Assim esperamos obter uma caracterização geral das aspirações,

objetivos e tendências da disciplina nesse contexto específico, que é o contexto dessa pesquisa.

No período compreendido entre a criação do curso de Licenciatura em Física da UFSC, em 1974, até sua reestruturação curricular de 1998, a qual se fez necessária para atender às exigências da LDB de 1996, a matéria dividia-se em duas disciplinas³².

Em sua primeira versão, estas duas disciplinas ocupavam, cada uma, quatro créditos. Fazia-se uma revisão dos conteúdos de Física através de seminários apresentados pelos licenciados, estudava-se grandes projetos de ensino de Física como o PSSC, e ainda eram elaborados projetos de ensino voltados ao Ensino Médio, com ênfase na parte experimental. Por volta de 1986 ocorreu uma ampliação na carga horária, de maneira que as duas disciplinas de Instrumentação passaram a contar, cada uma, com seis créditos. Em relação aos conteúdos, continuaram com o mesmo enfoque, no entanto a ênfase passa a ser não somente na parte experimental, mas também na construção de equipamentos alternativos, utilizando materiais de baixo custo, como motores, *kits* de acetato, paquímetros de papelão, etc. Os dois créditos a mais eram utilizados para o período em que os alunos ficavam no laboratório construindo estes equipamentos.

A primeira disciplina denominava-se *Instrumentação para o Ensino de Física I* (FSC 5115) e compunha-se da seguinte ementa: *Estudos de Projetos atuais para o Ensino de Física; Estudo crítico de textos nacionais e estrangeiros para nível médio; Estudo da aplicabilidade de experiências básicas sugeridas nos Projetos e nos textos estudados.* A disciplina seguinte, *Instrumentação para o Ensino de Física II* (FSC 5116), contemplava *Atividades docentes em aulas práticas com turmas de alunos do ciclo básico; Elaboração de roteiros e montagens de experiências básicas sugeridas nos projetos e textos estudados.*

Nestas duas primeiras versões da matéria, é clara a ênfase tecnicista, tendência pedagógica inspirada no behaviorismo e legitimada pela epistemologia empirista. Extremamente presente na época dos projetos, é a tendência predominante na década de 1970, na qual ocorre a implantação do curso. Se por um lado é preciso reconhecer o grande mérito de projetos como o PSSC em superar o modelo tradicional ao valorizar a participação ativa dos estudantes, também é necessário admitir que

O movimento renovador do ensino de ciências na década de 60, representado pelos grandes projetos de ensino que introduziram novos métodos e técnicas de ensino,

³² As grades curriculares e ementas podem ser encontradas na ata da 126ª reunião do Colegiado do Curso de Graduação em Física, realizada em 04/09/1998.

valorizando a atividade e a participação do estudante no processo de ensino, não abandonou a concepção empirista. Ao contrário, fazendo do laboratório didático um dos grandes ingredientes da proposta renovadora, valorizava o método experimental, reforçando e popularizando, de forma subjacente, a concepção empirista (PINHO ALVES, 2000, p. 210).

A reestruturação curricular de 1998 modificou a divisão da matéria Instrumentação na UFSC e a Portaria 064/PREG/99 substituiu aquela estrutura pela atual, que é praticada desde o ano de 2000, a partir do qual a Instrumentação para o Ensino de Física ocupa o espaço de três disciplinas: FSC 5117 – Instrumentação para o Ensino de Física A (INSPE A), FSC 5118 – Instrumentação para o Ensino de Física B (INSPE B) e FSC 5119 (INSPE C), cada uma com 72 h/a e ocorrendo entre a quinta e a sétima fase do curso de licenciatura. Deste modo, a distribuição da matéria atualmente praticada configura uma terceira versão da Instrumentação para o Ensino na UFSC.

Na quinta fase do curso, na disciplina INSPE A, é feita inicialmente uma introdução à epistemologia, partindo da dicotomia entre Racionalismo e Empirismo, em particular na perspectiva dos gregos e também nas concepções de Bacon e Descartes. Ocorre ainda uma breve discussão do objeto desta Ciência e da contribuição de alguns dos principais epistemólogos modernos (Kuhn, Bachelard, Popper, Lakatos, Feyerabend). A exploração deste conteúdo visa discutir algumas críticas ao empirismo e ao ensino tradicional, através de exposições dialogadas. A discussão é enriquecida com a análise de livros didáticos de Física, alguns da década de 1950, além de compêndios franceses do início do século XX ou final do século XIX. Esta análise, feita pelos próprios alunos e discutida em pequenos grupos e, após, no grande grupo, permite identificar a influência do ideal empirista nos textos de Ensino de Física ao longo do tempo.

Em um momento posterior aborda-se, brevemente, o movimento de renovação do Ensino de Ciências, em particular na Física. Em seguida ocorre uma apresentação e uma discussão analítica sobre os grandes projetos de ensino de Física como PSSC, PEF, PBEF, Harvard, FAI, Piloto. Para cada projeto, grupos de alunos são formados e ficam responsáveis pela apresentação de uma aula típica do respectivo projeto para os demais colegas. A aula deve contemplar, necessariamente, alguma atividade experimental. Esta abordagem, através da apresentação de aulas típicas, auxilia os licenciados a identificar e analisar as diferentes inovações em cada projeto, metodologias, conteúdos, usos do laboratório didático, concepções epistemológicas inerentes, etc. Ao término de cada aula, o grande grupo discute questões relacionadas ao projeto apresentado e também avalia a apresentação.

Mais adiante passa-se a discutir sobre novas concepções de Ensino de Ciências, iniciando com uma exposição dialogada sobre o Construtivismo. Alguns conceitos da Didática das Ciências, como Concepções Alternativas, Transposição Didática, Contrato Didático, além da Modelização e do uso de História da Ciência com fins didáticos são objeto de estudo, novamente através do trabalho em grupos de alunos. Após a apresentação de seminários sobre cada um destes subsídios teóricos, apoiados em textos indicados pelos professores, os alunos apresentam uma respectiva proposta de aula, inspirada no uso do subsídio correspondente. Ao final de cada aula, promove-se uma discussão no grande grupo sobre a viabilidade da proposta. A expectativa é que este estudo favoreça a apropriação de um instrumental teórico que auxilie os futuros professores no planejamento e na elaboração de seqüências didáticas.

A sexta fase é aquela na qual se situa a disciplina INSPE B. Inicialmente são apresentados e discutidos mais alguns conceitos ligados à concepções teóricas que ocupam lugar de destaque na área de Ensino de Ciências, a saber, as perspectivas da Alfabetização Científica e Técnica (FOUREZ, 1997) e da vertente “Ciência, Tecnologia e Sociedade”, além de se retomar também o debate acerca do papel das Atividades Experimentais no Ensino de Física. Estas discussões ocupam cerca de seis aulas. Logo em seguida dá-se início à atividade de elaboração dos Projetos Temáticos, que será objeto de nossa discussão na seção seguinte.

Na sétima fase do curso ocorre a disciplina INSPE C. Na parte inicial da disciplina, os Projetos elaborados em INSPE B são redistribuídos a grupos de licenciandos diferentes daquelas que fizeram a versão original do Projeto, para que façam uma avaliação e, conforme o caso, uma re-adequação do material. O primeiro momento é destinado à análise crítica e apresentação de um relatório por parte do grupo reestruturador, apontando as modificações que serão realizadas e os critérios adotados nesta adequação do material. Os licenciandos têm então um certo intervalo de tempo para realizar os ajustes que julgarem necessários. Nessa etapa, a quantidade e profundidade das alterações realizadas oscilam amplamente, havendo casos de aplicação do projeto quase integralmente na forma original e casos de total reconstrução, descartando por completo a versão original.

Os Projetos Temáticos são então aplicados (em forma de mini-cursos) para um público externo (essencialmente alunos do Ensino Médio de escolas da região, quer de escolas públicas, quer particulares, e independentemente da série em que estudam). Tais aulas ocorrem no mesmo local e horário alocado para as próprias aulas da disciplina de Instrumentação, de modo que os professores formadores e colegas também assistem às aulas

de cada Projeto. Após cada aula, reserva-se algum intervalo de tempo para a discussão e avaliação da aula entre formadores e licenciandos. Os licenciandos que assistem à aula de cada colega elaboram, individualmente, uma avaliação por escrito de cada aula.

Uma característica que pode ser enfatizada é a unicidade neste conjunto de disciplinas, ministradas atualmente por três professores que participam, cada um, em pelo menos duas delas. Dessa forma foi possível estruturá-las organicamente, promovendo uma articulação seqüencial entre conteúdos, metodologias e atividades propostas que mantém um desígnio comum, que é instrumentalizar os licenciandos para a prática docente, levando em conta os resultados e temas atuais da pesquisa em Ensino de Ciências e de forma harmônica com a legislação educacional vigente.

O objetivo central desse direcionamento é possibilitar a discussão de forma analítico-crítica dos principais trabalhos, projetos e pesquisas relacionados ao ensino-aprendizagem de Física. Com isso, esperamos uma reflexão maior, por parte dos alunos, sobre a prática pedagógica e, também, que eles possam adquirir maior autonomia para o planejamento e elaboração de estratégias didáticas. (CRUZ; PINHO ALVES, 2003, p. 3)

A inspiração deste direcionamento para as disciplinas de Instrumentação para o Ensino de Física surge no âmbito das discussões do grupo de Pesquisa em Ensino do Departamento de Física (FSC) e com os professores do Departamento de Metodologia de Ensino (MEN) da UFSC. Os professores do MEN que participam destas discussões trabalham com disciplinas específicas para a formação de professores de Física, como Didática Geral e Metodologia e Prática para o Ensino de Física. Eles têm graduação em Física e pós-graduação em Educação. As disciplinas INSPE são de responsabilidade do Departamento de Física e, pelas especificidades, são ministradas por professores do grupo de Pesquisa em Ensino de Física, porém guardam estreitas relações com as disciplinas do MEN. Tanto os docentes responsáveis pela disciplina de Instrumentação como aqueles do MEN são todos atuantes no Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT), o qual existe sob responsabilidade conjunta do Centro de Ciências Físicas e Matemática (CFM) e do Centro de Ciências da Educação (CED).

Observando o direcionamento dado à Instrumentação a partir da reforma curricular de 1998, e também a expectativa demonstrada pelos próprios docentes da disciplina na citação anterior, pode-se notar uma clara mudança de ênfase, através da incorporação da visão construtivista. Incorporam-se, assim, resultados da pesquisa em Ensino de Física, tanto como referencial teórico quanto como parte do conteúdo destas disciplinas. Como enfatiza

Pinho Alves (2000), o ideal tecnicista foi lentamente cedendo lugar à concepção construtivista no âmbito da pesquisa em ensino. Por outro lado, acrescentamos que esta ruptura parece não ter ocorrido, ou estar ocorrendo muito mais lentamente, no ensino de graduação das disciplinas específicas de Física. Desta situação decorre um caráter de certa forma antagônico na atual formação de licenciatura, pois como relata Westphal ao discutir esta nova perspectiva curricular para a matéria Instrumentação para o Ensino de Física na UFSC,

Estas modificações, implementadas sob a égide e a “espada” da lei, permitiram a aproximação do Curso com o ideal defendido por alguns professores, desagradando inequivocamente a outros, que viam nelas um distanciamento ainda maior do modelo de formação que defendiam (WESTPHAL, 2006, p. 54).

No novo currículo do Curso de Licenciatura em Física da UFSC, cuja implementação se inicia a partir de 2009, as disciplinas continuam com o mesmo enfoque e passam fazer parte das 400 horas de Prática como Componente Curricular, conforme resolução 2/2002 CNE/CP (BRASIL, 2002).

2.1.2 Projeto Temático

Na Introdução desta dissertação foram indicados alguns aspectos essenciais da proposta de Projetos Temáticos que a tornam uma situação didática diferenciada, na qual existe a preocupação em explorar o aspecto processual na construção do conhecimento científico. Para esclarecer um pouco mais sobre esta proposta, nesta seção serão descritas as etapas de elaboração do Projeto Temático, situando a atividade no contexto das disciplinas de Instrumentação.

Conforme foi visto na seção anterior, é na disciplina INSPE B que ocorre a elaboração dos Projetos Temáticos. Inicialmente, os licenciandos são orientados a formar grupos com três alunos, em média. Cada grupo sorteia um tema, a partir de uma lista de temas previamente elaborados pelos professores formadores. Estes temas enfocam, como também já foi mencionado na Introdução, algum fenômeno da natureza, como *Ondas sísmicas*, *Das Auroras Polares aos Raios Cósmicos*, *Nascimento e Morte das Estrelas*, ou de ordem tecnológica, como *Células Solares*, *Computadores: das Válvulas aos Microchips*, *Levitando Trens com Supercondutores*, etc. Como é possível perceber, estes temas não se restringem à Física Clássica, contemplando também diversos tópicos de Física Moderna.

São fornecidas instruções para orientar a elaboração do produto material, formalmente, cujo registro consta no Plano de Ensino. Assim, esse produto deverá ser composto de:

... material instrucional para o aluno e para o professor, contemplando o *conteúdo*, *exercícios*, *atividades experimentais*, *proposta de avaliações* e *demais formas ou processos instrucionais que se fizerem adequados*.³³

O documento informa sobre outros aspectos do material a serem levados em conta:

O material produzido deve ser o mais detalhado possível, isto é, deverá possibilitar que qualquer pessoa em qualquer lugar possa aplicar o projeto sem maiores esclarecimentos dos autores. Em suma: deve ser o mais auto-suficiente possível nas informações referentes às metodologias, ao processo de aplicação e, logicamente, ao conteúdo proposto.

Atividades experimentais deverão necessariamente fazer parte do projeto temático.

³³ O Plano de Ensino consta nos Anexos.

Os elementos que devem ser contemplados são descritos em detalhe, assim como as demais tarefas (provas e seminários), juntamente com os critérios que serão adotados para a avaliação destas tarefas, no mesmo documento. A fim de favorecer a disseminação dos Projetos, estes são confeccionados também em formato digital, além do impresso. Orienta-se que o Projeto Temático deverá ser programado para ter uma duração de oito aulas de quarenta e cinco minutos.

Ao longo do desenvolvimento da disciplina, os licenciandos apresentarão, no total, quatro seminários. Para cada um destes seminários, reserva-se um determinado intervalo de tempo para a apresentação e outro para a argüição, com o grande grupo (colegas e professores formadores). Também é exigida, em cada seminário, a entrega de um resumo sobre o mesmo. Intercaladas entre os períodos de apresentação de seminários, algumas aulas são reservadas ao trabalho dos grupos em sala de aula, permitindo que estejam dialogando com os docentes à medida que desenvolvem a elaboração de seus projetos.

No primeiro seminário, o grupo é solicitado a apresentar o tema sorteado e a seleção dos conteúdos relacionados ao tema, explicitando todos os conceitos pertinentes que foram levantados a partir de todas as fontes consultadas pelo grupo e suas respectivas justificativas. Não há um compromisso de “engessar” as etapas posteriores dentro dessa seqüência preliminar de conteúdos. Podemos interpretar esta primeira tarefa como a elaboração de uma organização de um conjunto de enunciados sobre uma noção em função de elos lógicos e utilizando um número limitado de conceitos integradores, que *“permite organizar, enquanto estrutura, as aprendizagens escolares, quando os alunos tendem a ver apenas uma poeira de informações apreendidas de maneira mais acumulada que integrada”* (ASTOLFI; DEVELAY, 1991). Na situação aqui descrita, os “alunos” são os próprios licenciandos.

Ao se elaborar esta organização para o Projeto Temático, surge uma ampla diversidade de questões, como já foi mencionado na Introdução. Parte dos recortes necessários para a elaboração do Projeto consiste em definir, dentro deste mar de questões, quais serão escolhidos para serem aprofundados e quais permanecerão apenas em caráter informativo ou nem serão abordados. Desta definição decorrem as possíveis problematizações que serão desenvolvidas e também os conteúdos de ensino do Projeto. Quem realiza estas escolhas é o grupo responsável pelo tema, porém ao realizá-las deve mostrar as

possibilidades, justificar suas escolhas e debater sobre elas juntamente com o grupo de colegas e professores formadores.

O resumo entregue pelo grupo neste primeiro seminário deve conter a bibliografia ou conjunto de referências consultadas pelo grupo, como livros, páginas na Internet, artigos de periódicos, e demais fontes. Nesta listagem cada referência deve vir acompanhada de comentários do grupo. A intenção é que o grupo realize uma pesquisa ampla e aprofundada sobre o tema, antes de propor a Trama Conceitual. A simples observação de alguns exemplos de temas, como os constantes na primeira página desta seção, permite notar que a maioria deles não são objeto de estudo aprofundado nas disciplinas específicas de Física. Muitos deles, na verdade, sequer são mencionados e, quando o são, geralmente é apenas como um exemplo, nota de rodapé ou seção opcional.

Nas semanas seguintes, ocorre uma segunda etapa do processo, na qual espera-se que os licenciandos trabalhem para definir a forma pela qual estes conteúdos selecionados serão tratados, atribuindo a seqüência didática, as metodologias que serão adotadas e os diversos recursos instrucionais a serem empregados. Em outras palavras, trabalham na Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991) necessária. O produto é apresentado em um segundo seminário, no qual o grupo deve expor o cronograma detalhado das aulas, contemplando cada procedimento nos diferentes momentos didáticos.

O terceiro seminário consiste em mais um refinamento, no qual explicitam-se as atividades de Modelização que serão realizadas no Projeto Temático, descrevendo-as em detalhe. Cada atividade de Modelização proposta pelo grupo é apresentada e discutida com o grande grupo. Na versão final da maioria dos Projetos é possível encontrar a indicação explícita de quais atividades são propostas para modelizar os correspondentes conceitos.

Por fim, no quarto seminário, os licenciandos apresentam o Projeto Temático pronto, exibindo uma visão geral do produto, nos moldes em que este é solicitado nas orientações constantes no Plano de Ensino e após as contínuas revisões a partir dos subsídios fornecidos pelos colegas e professores em cada um dos seminários anteriores. Os elementos que devem ser contemplados nesta versão final dividem-se em duas partes.

A primeira parte corresponde a uma apresentação do Projeto. Nela, o grupo deverá indicar os pré-requisitos (se necessários), a série escolar sugerida para aplicação, o objetivo geral do Projeto, a caracterização do público-alvo, etc. Deve conter também um

quadro sintético das aulas, mostrando a divisão dos momentos didáticos com sua respectiva previsão de duração e breves comentários.

A segunda parte é a seqüência didática planejada, com o plano detalhado de cada uma das aulas. Além da descrição minuciosa de cada procedimento, deve aparecer a indicação explícita das concepções alternativas esperadas e seu tratamento didático; dos elementos de história da ciência relacionados; do Contrato Didático a ser adotado; do processo de modelização dos conceitos (teórico ou experimental); da categoria da atividade experimental planejada e sua justificativa.

Estas duas partes são dirigidas a professores que, potencialmente, aplicariam estes Projetos em suas salas de aula. Daí a necessidade de um considerável detalhamento nas descrições e justificativas. Não há uma indicação formal da necessidade de um texto redigido pelo grupo e dirigido aos alunos, embora alguns grupos optem por produzir também este tipo de material. Outros utilizam textos de nível médio de outras fontes, agregando-os ao Projeto como Anexos.

2.2 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na busca por indicativos que auxiliem a caracterizar os Projetos Temáticos e a compreender o conceito de modelização, aspecto particular selecionado para a investigação, veiculado neste contexto, foram elaboradas algumas estratégias metodológicas, que serão objeto deste capítulo.

Procurou-se contemplar, neste estudo, a consideração de informações obtidas a partir de três principais fontes: os licenciandos que realizaram a proposta, os professores formadores e os produtos construídos, isto é, os Projetos Temáticos. Com isso buscou-se possibilitar a visualização de um panorama geral sobre o significado, as finalidades e as características essenciais dos Projetos Temáticos, e ao mesmo tempo permitir uma incursão mais aprofundada em nosso foco de interesse, que é a modelização.

Em discussões relacionadas à metodologia da pesquisa, tanto as encontradas em referenciais teóricos como em capítulos de dissertações e teses, é freqüente o surgimento da oposição entre as abordagens qualitativa e quantitativa (GÜNTHER, 2006; PEREIRA, 1999). Embora a pesquisa qualitativa tenha aparentemente se tornado muito mais popular em comparação à quantitativa, na área da pesquisa em educação, Lüdke e André (1986) apontam a existência de dúvidas e confusões relacionadas a este conceito.

Na tentativa de aprofundar uma fundamentação teórica para a pesquisa em pauta, a revisão literária de fato conduziu muitas vezes a contradições, lacunas e incompreensões na caracterização destas abordagens. Por exemplo, é comum que pesquisas auto-denominadas qualitativas façam extenso uso de tratamentos quantitativos de dados, principalmente de natureza estatística. Contraste-se isto, por exemplo, com a conceituação oferecida por Pereira:

O dado qualitativo é uma representação simbólica atribuída a manifestações de um evento qualitativo. (...) é uma forma de **quantificação** do evento qualitativo e (...) **constitui-se em alternativa à chamada pesquisa qualitativa**, que também se ocupa da investigação de eventos qualitativos mas com referenciais teóricos menos restritivos e com maior oportunidade de manifestação para a subjetividade do pesquisador. Essas duas abordagens alternativas, não raro, são confrontadas numa falsa oposição que busca uma ordem de precedência entre elas, a qual carece de pertinência e só encontra abrigo na intolerância, inimiga da ciência e da verdade (PEREIRA, 1999, p. 22, sem grifo no original).

Segundo Pereira (1999), a única situação na qual a abordagem quantitativa deixa de ser uma alternativa válida ocorre em casos nos quais não se disponha de qualquer conhecimento anterior do objeto. O autor refuta a tradicional oposição entre as duas abordagens, apontando como possível origem a representação (inapropriada) da oposição entre o racionalismo e o empirismo na Ciência.

Reforçando a observação de Lüdke e André exposta no primeiro parágrafo, Lichtman (2006) destaca que não existe uma concordância clara na conceituação de pesquisa qualitativa. Esta pesquisadora menciona que alguns autores falam sobre a falta de uma definição coerente, outros sobre a dificuldade em se obter tal definição. Na tentativa de fornecer uma noção para este conceito, a autora esclarece que a pesquisa qualitativa...

... é uma forma de pensar que assume que o pesquisador reúne, organiza e interpreta informações (usualmente em palavras ou em figuras) com seus olhos e ouvidos como filtros. É uma forma de fazer que geralmente envolve entrevistas em profundidade e/ou observações de humanos em meios naturais e sociais. Pode ser contrastada com a pesquisa quantitativa, que repousa fortemente sobre o teste de hipóteses, causa e efeito, e análises estatísticas (LICHTMAN, 2006, p. 22, tradução nossa).

Em uma perspectiva consistente com esta noção, Richardson (1999) distingue a abordagem qualitativa da quantitativa destacando que a primeira não se baseia no instrumental estatístico e não pretende numerar ou medir categorias. O autor parece divergir do conceito de Pereira (1999) pois afirma que, ao ser quantificado, o dado perde seu caráter qualitativo. Como exemplos de possíveis maneiras pelas quais o pesquisador transforma dados qualitativos em quantitativos, Richardson (1999) cita o emprego de critérios, categorias, escalas de atitudes, etc.

As definições apresentadas até aqui se referem principalmente a comparações entre as metodologias básicas relacionadas a cada abordagem. Uma distinção diferente, baseada na gênese e desenvolvimento da pesquisa, é oferecida por Greenhalgh e Taylor:

Pesquisa quantitativa deve começar com uma idéia (usualmente articulada como uma hipótese) a qual, através de medidas, gera dados e, por dedução, permita que se obtenha uma conclusão. Pesquisa qualitativa, em contraste, inicia com a intenção de explorar uma particular área, coleta “dados” (observações e entrevistas), e gera idéias e hipóteses a partir destes dados principalmente através daquilo que é conhecido como raciocínio indutivo (GREENHALGH; TAYLOR, 1997, p. 41, tradução nossa).

Não obstante sua pertinência, essa definição não nos permite a classificação unívoca da presente investigação. Caso tentássemos reconstruir a evolução da pesquisa em

pauta e adotássemos a conceituação de Greenhalg e Taylor (1997), parece-nos que o caminho indicado seria uma seqüência na qual, em um primeiro momento, a pesquisa qualitativa seria predominante, seguida por um segundo período no qual a tônica seria a pesquisa quantitativa. Todavia mesmo esta descrição seria inadequada, pois não se pode afirmar que o primeiro momento iniciou sem a existência de hipóteses, nem que o surgimento de hipóteses novas cessou no segundo momento. Uma tentativa de classificação por esta via seria, portanto, inconclusiva. O mesmo acontece na tentativa de classificar esta como uma pesquisa qualitativa segundo outras caracterizações, como a de Bogdan e Biklen (1982).

Levando em conta estas contradições que se apresentam na categorização rigorosa desta investigação, consideramos que o enfoque metodológico que será dado ao problema contempla características e procedimentos que poderão estar mais ou menos relacionados com ambas as abordagens. Esta opção encontra suporte, por exemplo, no trabalho de Goode e Hatt, para quem...

... a pesquisa moderna deve rejeitar como uma falsa dicotomia a separação entre estudos “qualitativos” e “quantitativos”, ou entre ponto de vista “estatístico” e “não estatístico”. Além disso, não importa quão precisas sejam as medidas, o que é medido continua a ser uma qualidade (GOODE; HATT, 1973, p. 398).

Nas subseções seguintes, passa-se à caracterização dos instrumentos que serão utilizados para a coleta de dados.

2.2.1 Análise de Conteúdo

O conceito de análise de conteúdo tem sofrido constantes transformações à medida que esta técnica se aperfeiçoa e se amplia seu campo de aplicação, defrontando-se assim com novos problemas. Uma definição básica desta técnica de pesquisa e que resume o pensamento de diversos pesquisadores é a seguinte:

A Análise de Conteúdo se define como uma técnica que permite o exame metódico, sistemático, objetivo, e, se for o caso, quantitativo de certos textos, permitindo classificar e interpretar seus elementos constituintes, que não seriam acessíveis à leitura ingênua. Texto, aqui, designa qualquer tipo de produção, verbal, escrita, ou oral. (ROBERT; BOUILLAGUET, 1997, p. 4, tradução nossa.)

Portanto, esta técnica é utilizada principalmente no estudo de materiais do tipo qualitativo e tem, como características metodológicas mais importantes, a objetividade e a sistematização. É considerada aplicável a qualquer comunicação registrada e pode ser utilizada para analisar textos de diferentes maneiras, por exemplo, comparar mensagens (textos) emitidas pela mesma fonte através do tempo ou em diferentes situações; comparar mensagens de diferentes emissores ou comparar mensagens com categorias exógenas, para determinar o significado que determinada fonte atribui a tais categorias (RICHARDSON, 1999).

Bardin (1998) esquematiza a análise de conteúdo mediante quatro etapas. A primeira delas é uma pré-análise, que tem como método a leitura flutuante e cujo produto será a definição das fontes, hipóteses e indicadores da análise. A etapa seguinte consiste na exploração do material, que ocorre através da codificação – transformação dos dados brutos contidos no texto, segundo regras precisas – e da categorização – operação de classificação dos elementos constituintes da amostra. Em seguida, é realizado o tratamento dos dados, que corresponde às operações estatísticas e testes de validade e, por fim, ocorre a interpretação dos resultados, expressa através de inferências obtidas por dedução (BARDIN, 1998)

A categorização, segundo Richardson, pode ser feita estabelecendo previamente as categorias a partir da fundamentação teórica ou permitindo que elas surjam a partir da progressiva classificação dos elementos analisados. Para este autor, a construção das categorias deve se basear nos seguintes critérios: permitir a inclusão de todos os elementos analisados (exaustividade); nenhum elemento deve ser classificado em mais de uma categoria

(exclusividade); deve-se evitar termos abstratos (concretitude); a classificação deve se basear sempre no mesmo princípio (homogeneidade) e as variáveis e indicadores que determinam a classificação devem ser claramente definidos (objetividade e fidelidade).

Não é regra, porém, que as categorias devam emergir somente do quadro teórico adotado ou somente dos próprios textos, pois, segundo Lüdke e André,

A construção de categorias não é tarefa fácil. Elas brotam, num primeiro momento, do arcabouço teórico em que se apóia a pesquisa. Esse conjunto inicial de categorias, no entanto, vai ser modificado a longo do estudo, num processo dinâmico de confronto constante entre teoria e empiria, o que origina novas concepções e, conseqüentemente, novos focos de interesse. (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 42)

Para estas autoras, inclusive o método de codificação³⁴ escolhido na etapa anterior à categorização também irá “*depende da natureza do problema, do arcabouço teórico e das questões específicas da pesquisa*” (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 42).

2.2.2 Questionários

Possivelmente o instrumento de coleta de dados mais utilizado em pesquisas educacionais, o questionário tem como uma das principais vantagens permitir a obtenção de um grande volume de dados e, para Silva e Schappo (2001), de forma razoavelmente rápida e segura. Marconi e Lakatos (2007) definem este instrumento como uma forma de observação direta extensiva constituída por uma série de perguntas que devem ser respondidas por escrito e sem a presença do investigador.

Segundo Richardson (1999), o questionário é uma entrevista estruturada que pode atender diversos objetivos. O autor classifica os tipos de questionário quanto ao modo de aplicação (contato direto ou indireto) e quanto ao tipo de perguntas (abertas, fechadas, ou combinações). No segundo caso, discorre sobre as vantagens e desvantagens de cada tipo.

Perguntas abertas possibilitam uma maior liberdade ao entrevistado, porém as respostas tendem a serem mais difíceis de codificar e classificar e podem levar a dificuldades

³⁴ Para Marconi e Lakatos (2007), codificar significa transformar o que é qualitativo em quantitativo.

ou equívocos na interpretação, além da necessidade de um maior investimento de tempo. Perguntas fechadas, por outro lado, costumam ser mais fáceis de responder e codificar, porém é possível que o pesquisador não ofereça todas as alternativas possíveis de resposta a determinada questão, o que poderia deturpar a informação. Levando em conta estes aspectos pode-se concordar com Rea e Parker quando estes autores enfatizam que “*nenhum questionário pode ser considerado ideal para obter todas as informações necessárias a um estudo*” (REA; PARKER, 2002, p. 39).

Em relação às funções que podem ser assumidas para este instrumento, Richardson (1999) aponta que os questionários cumprem pelo menos duas finalidades: a descrição de características e a medição de determinadas variáveis de indivíduos ou grupos sociais. No segundo caso, de acordo com o autor, estão incluídas medições relacionadas a atitudes e opiniões dos respondentes.

É preciso observar que a classificação das perguntas em abertas ou fechadas é ainda muito geral, pois na construção de um questionário é necessário decidir os tipos específicos de perguntas que serão utilizadas. Por exemplo, em pesquisas que buscam acessar atitudes e opiniões dos entrevistados, é comum oferecer aos sujeitos uma lista de frases ou adjetivos e solicitar que respondam de acordo com suas opiniões, expectativas, etc. Nestes casos as medidas são efetuadas através de determinadas escalas, como as de Thurstone, Likert e Guttman, além de variações de escalas ordinais (HILL; HILL, 1998).

2.3 DELINEAMENTO DA INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA

Na busca por subsídios empíricos que possam contribuir na elucidação das questões que vem sendo colocadas, e tendo em conta as fontes de dados disponíveis, foi planejado um conjunto de procedimentos metodológicos a serem descritos nesta seção. Antes, porém, de relacionar cada procedimento e seu objeto de referência, serão feitas algumas considerações com a pretensão de melhor contextualizar o desenvolvimento da pesquisa.

Em uma fase exploratória da presente investigação, a pesquisadora acompanhou o desenvolvimento das aulas da disciplina INSPE B, no segundo semestre de 2007, em caráter de observadora participante. Durante esta fase, assistiu às aulas teóricas ministradas pelos docentes formadores e aos seminários apresentados pelos alunos. Participou também das discussões internas dos grupos de alunos, e entre grupos de alunos e professores, nas aulas que foram dedicadas à elaboração dos projetos. Para Lüdke e André,

O “observador como participante” é um papel em que a identidade do pesquisador e dos objetivos do estudo são revelados ao grupo pesquisado desde o início. Nessa posição, o pesquisador pode ter acesso a uma gama variada de informações, até mesmo confidenciais, pedindo cooperação ao grupo. Contudo, terá em geral que aceitar o controle do grupo sobre o que será ou não tornado público pela pesquisa. (LÜDKE; ANDRÉ; 1986, p. 29).

O registro das informações percebidas durante esta fase ocorreu através de anotações no caderno de campo, gravações em áudio de aulas e principalmente de seminários, e também questionários aplicados aos alunos. Estas informações, porém, não serão analisadas sistematicamente. O principal objetivo deste estágio preliminar da pesquisa foi o de proporcionar uma fase exploratória, uma “*leitura flutuante*” (BARDIN; 1998) do objeto pesquisado. Com isto se pretendeu favorecer o surgimento de algumas hipóteses iniciais, as quais pudessem auxiliar na elaboração das categorias de análise. Pretendeu-se, também, estabelecer contato com os alunos com vistas a constituir parte da amostra da pesquisa.

2.3.1 A gênese da investigação empírica

Ao tentar acessar o entendimento dos sujeitos da pesquisa sobre a noção de Modelização, não estaremos procurando com isso sumariar um amontoado de dados empíricos, mas interpretar possíveis causas deste entendimento. Para isto, precisamos também resgatar o modo como os licenciandos apropriam-se desta noção em seu processo formativo. É com este objetivo que passaremos a descrever o tratamento didático, em termos de subsídios teóricos e como estes são trabalhados por ocasião da apresentação deste conceito aos licenciandos.

Conforme visto em seções precedentes, a noção de Modelização é abordada pela primeira vez no curso de Licenciatura em Física na UFSC durante a disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física A. É um dos tópicos explorados dentro de uma seqüência de conceitos estudada na segunda metade da disciplina. Nas próximas linhas descreveremos mais detalhadamente a forma de abordagem desta noção.

Para o tópico “Modelização”, são reservadas no total quatro aulas para apresentação de propostas de aulas inspiradas nesta perspectiva. Estas aulas são apresentadas por dois grupos de licenciandos, sendo duas aulas dedicadas para cada grupo. O texto-base “*Modelização de variáveis: uma maneira de caracterizar o papel estruturador da Matemática no conhecimento científico*” (PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001) é disponibilizado para todos os alunos da turma. Os grupos que ficam responsáveis pela apresentação destas aulas também têm acesso a outro subsídio teórico, o texto “*Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos*” (PIETROCOLA, 1999) e recebem dez roteiros de atividades de modelização de Pinheiro (1996), sendo que cada grupo fica com cinco atividades para aplicar. Algumas destas atividades encontram-se no Anexo II.

O grupo apresentador das aulas fica responsável pela aplicação das atividades para os demais colegas, que realizam as atividades conforme as instruções, simulando uma situação de sala de aula. A intenção desta abordagem é proporcionar uma situação de prática da modelização, na expectativa de potencializar a análise crítica que se segue no momento da discussão.

No encontro seguinte da disciplina, são dedicadas duas aulas para apresentação por parte do professor ministrante da disciplina. Nesta ocasião é feito um apanhado geral sobre a Modelização, apresentado na forma de um seminário para os alunos. Estes têm a

incumbência de entregar, nesta aula, uma resenha do texto base supracitado, ficando o segundo texto indicado como leitura opcional.

Este é, muito provavelmente, o primeiro contato dos licenciandos com o tema da Modelização no Ensino de Física. Portanto é bastante razoável supor que o conhecimento dos licenciandos sobre este tema é influenciado preponderantemente pelas concepções que são expostas nestes textos. Por outro lado, os licenciandos possuem pré-concepções sobre o que são modelos na Física, as quais não podem ser desconsideradas. Estas pré-concepções, em última análise, fundamentam-se no entendimento que os licenciandos têm sobre a gênese do conhecimento físico. Certamente, tal entendimento reflete-se nas propostas de atividades de sala de aula que são elaboradas mais adiante.

A fim de esclarecer e especificar melhor os subsídios teóricos sobre Modelização que são oferecidos aos licenciandos durante a disciplina INSPE A, passaremos a apresentar de forma comentada o texto base indicado para leitura obrigatória, no qual este conceito é introduzido. Dentre os autores deste texto, dois são professores experientes da disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física e pesquisadores da área; a outra autora, professora de Ensino Médio, em cuja dissertação foram organizadas as atividades, que já vinham sendo aplicadas – sem controle formal – em cursos de formação de professores desde 1990. Estas atividades foram “evoluindo” tanto no formato como no material desde o citado ano. Na mesma dissertação, o conjunto de atividades é analisado teoricamente sob orientação de um dos outros autores do artigo.

Sem pretender uma transcrição total ou análise extremamente detalhada, iremos ressaltar alguns aspectos de maior destaque a fim de explicitar a teoria sobre Modelização que é trabalhada com os licenciandos. O texto introduz o tema apontando a importância dos modelos para o conhecimento científico:

O conhecimento científico e, mais especificamente o conhecimento físico é constituído por teorias, que são estruturadas por modelos. Todavia, como veremos a seguir, não há um conceito único de modelo e existem várias definições, funções e papéis para os modelos no conhecimento físico (PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001, p.33).

Argumentando sobre a maneira reducionista e empobrecida com que o tema dos modelos é tradicionalmente abordado em sala de aula, os autores justificam a necessidade da discussão sobre o papel dos modelos a fim de evitar distorções sobre o conhecimento, como a desvinculação deste com a realidade ou o equívoco oposto, ou seja, a total identificação dos objetos com os conhecimentos que são produzidos sobre esses objetos.

Em seguida, os autores passam a apresentar os primeiros indicativos sobre o aspecto específico dos modelos que irão enfatizar em sua abordagem:

Com relação à vinculação entre conhecimento físico e Matemática, temos percebido que uma fonte importante de problemas de apropriação e utilização do conhecimento físico tem origem na incorporação e utilização de modelos matemáticos por parte dos alunos. [...] Em função desse tipo de dificuldade, consideramos necessário o desenvolvimento de etapas iniciadoras que possibilitem aos alunos a apreensão e o domínio da Matemática como estruturadora de modelos (PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001, p.34).

Isto é, dentre as múltiplas questões relacionadas ao tema dos modelos na Física e no Ensino de Física, os autores escolhem tratar o aspecto da matematização, certamente inspirados pela grande dificuldade apresentada por alunos iniciantes na Física quanto a este particular aspecto. Certamente não há dúvidas da legitimidade desta preocupação, tendo em vista que a Matemática não é apenas uma linguagem para o consumo dos conhecimentos da Física, mas é também uma forma de estruturar o pensamento científico. Nessa abordagem, o objetivo maior da Modelização no Ensino de Física seria o de...

... propiciar 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” (PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001, p.34, grifo dos autores).

Nos parágrafos que seguem os autores destacam a complexidade do conhecimento físico e conceituam este conhecimento como “*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*” (PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001, p.33).

Adiante se passa ao tema dos modelos, onde são apresentados os conceitos bungeanos de objeto-modelo e modelo teórico. No entanto esta apresentação é concisa, ocupando somente dois parágrafos de texto. Em seguida, descreve-se a classificação de modelos de Kneller (1980): representacional, imaginário e teórico.

É interessante notar que o significado que Bunge atribui à expressão “modelo teórico” não coincide com o que é atribuído à Kneller (1980). Em sua obra citada, Kneller assinala que esta classificação foi proposta originalmente por Peter Achinstein, em 1968.

Segundo Kneller (1980), o *modelo representacional* é uma representação física tridimensional, tal como uma maquete, um modelo de bolas coloridas que represente uma molécula, ou um análogo material. Assim, aquilo que Achinstein (1968) citado por Kneller (1980) denominou de modelo representacional corresponderia a um subconjunto dos objetos-modelo de Bunge, os objetos-modelo do tipo pictórico.

Modelo imaginário é aquele que Achinstein (1968) citado por Kneller (1980) teria definido como “*um conjunto de pressupostos apresentados, não como descrição plausível de um objeto ou sistema, mas como uma descrição de como o objeto ou sistema seria se fossem satisfeitas certas condições*” (KNELLER, 1980, p. 140). Não fica claro, nesta conceituação, se o modelo seria o conjunto de pressupostos em si ou a descrição do comportamento do objeto decorrente destes pressupostos. Embora a definição apresentada indique o primeiro caso, o exemplo oferecido por Kneller parece se relacionar mais com o segundo:

O modelo mecânico do campo eletromagnético de Maxwell é imaginário nesse sentido. Em vez de afirmar que o campo eletromagnético é governado, de fato, pelas leis da mecânica newtoniana, Maxwell descreveu como ele seria se fosse por elas regido (KNELLER, 1980, p. 140).

Esta distinção também não é feita na descrição do que Kneller (1980) e Achinstein (1968) consideram como sendo o *modelo teórico*. Inicialmente ele é definido como o conjunto de pressupostos sobre um objeto ou um sistema e exemplificado como o modelo de bola de bilhar que representa as moléculas de um gás como partículas esféricas. Nesse sentido, aproxima-se do objeto-modelo do tipo conceitual. Porém, ao longo de sua descrição, Kneller afirma que um modelo teórico pode expressar-se na forma de equações. Com isso, parece indicar uma acepção também no sentido do modelo teórico de Bunge.

O texto segue baseado na referência de Kneller para justificar a importância da Matemática na construção de modelos e teorias e cita Bassanezi (1994) para designar um modelo matemático como “*um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam o objeto estudado, o qual expressa e interpreta uma ou mais hipóteses de maneira quantitativa*” (BASSANEZI, 1994 apud PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001, p. 38). Nesse sentido, o conceito de modelo matemático adotado parece aproximar-se daquilo que Bunge denominava de caixas-pretas.

De maneira coerente com essa perspectiva, o texto dá ênfase aos aspectos explicativo e preditivo dos modelos. O papel de prever o comportamento de um objeto ou sistema está claramente ligado ao aspecto matemático. O caráter explicativo também, pois estará sendo entendido como “*a análise das relações entre elementos do sistema que serve de modelo*” (PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001, p. 39).

Em seguida passa-se a apresentar a proposta dos autores, a *modelização de variáveis*, que tem como objetivo promover a apropriação de modelos matemáticos por parte dos estudantes de modo favorecer uma compreensão do conhecimento científico como sendo estruturado e comunicado através destes modelos. Esta modelização de variáveis é entendida

como uma modelagem matemática conforme definida por Bassanezi (1994): *um processo dinâmico, que consiste na transformação de problemas reais em problemas matemáticos e na interpretação de suas soluções utilizando a linguagem do mundo real.* (BASSANEZI, 1994).

Os autores são claros ao caracterizar esta proposta como uma etapa iniciadora, prevista para o princípio do primeiro ano do Ensino Médio. Nela, o objetivo citado no parágrafo anterior é buscado através da realização de atividades experimentais, de maneira a 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 de modelos” (PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001, p. 41).

As atividades são estruturadas com base em uma seqüência de procedimentos: motivação, formulação de hipóteses, validação das hipóteses e novos questionamentos, e enunciado.

A motivação ocorre quando se apresenta ao aluno um problema significativo ou uma questão que se relaciona com suas experiências anteriores. É nesse momento que se orienta a atenção do estudante para “as coisas que mudam” ou “objetos mutáveis”, ou seja, para a identificação das grandezas que se relacionam com regularidade. Também deve ser enfatizado que a identificação de cada objeto de mudança implica a existência de uma conceituação prévia desses objetos, o que significa dizer que, em algum momento, o aluno já interagiu com esses objetos e já formulou um conceito sobre eles (PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001, p. 42).

A etapa seguinte é a formulação de hipóteses, na qual espera-se que sejam explicitadas as expectativas dos alunos a respeito do mecanismo que será observado, ou seja, como ocorrem as mudanças ou regularidades. Em termos bungeanos pode-se entender essa hipótese como a forma matemática esperada para o modelo teórico. O aluno deve escrever sua expectativa como a *aposta*.

A validação das hipóteses é feita através da atividade experimental proposta pelo professor, atribuindo e obtendo dados quantitativos referentes às grandezas para as quais se supõe que haja alguma relação. Estes dados são dispostos inicialmente na forma de uma tabela, à medida que são mensurados. Em seguida são analisados através da construção de um gráfico “*e é a partir da distribuição dos pontos e da idealização do problema que se constrói um modelo analítico ou algébrico para o mesmo*” (PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001, p. 43, grifo nosso).

Portanto, embora esteja sendo enfatizado o tratamento matemático como forma de obter conhecimento sobre o objeto estudado, não se espera que a matematização sozinha dê origem ao novo conhecimento. O papel da idealização também é assumido como fundamental

para a construção do modelo teórico, ou seja, não é negligenciada, nesta proposta, a contribuição do sujeito do conhecimento.

A atividade é finalizada com a enunciação verbal que responde ao problema apresentado na motivação. Nesse momento são feitas comparações entre o modelo obtido e as expectativas teóricas da aposta. Os autores indicam também que devem ser provocadas discussões a respeito das possibilidades e limitações do modelo em outros contextos distintos deste em que foi construído.

As atividades são previstas para ser desenvolvidas pelos alunos, entretanto elas 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 de cada atividade. A participação do professor é fundamental, visto que a atividade em si não dá acesso ao conhecimento e, apesar de ter embasamento empírico, não é idealizada para a obtenção dos dados. Isso significa que o professor deve ter clara a concepção construtivista da Ciência que ele pretende compartilhar com seus alunos (PINHEIRO; PINHO-ALVES; PIETROCOLA, 2001, p. 44).

Deste ponto em diante passa-se a apresentar um exemplo de atividade de modelização de variáveis. A atividade contida no texto e apresentada como exemplo da modelização de variáveis constitui parte de uma seqüência composta por nove atividades extraída do trabalho de dissertação de Pinheiro (1996). Trata-se da atividade chamada “*Dominó*”, que já foi explicada e discutida no capítulo 2 desta dissertação e por essa razão não será novamente discutida, já que a descrição e o resgate de seus pontos mais importantes já foi objeto de nossa análise.

Como considerações finais, os autores destacam a necessidade de deixar bem claro que o procedimento sugerido não é o único procedimento desenvolvido na construção do conhecimento científico. Se para o aluno pretende ser a construção de um conhecimento, do ponto de vista humano é uma reconstrução de um saber que demandou a contribuição de muitas pessoas no decorrer de um período de tempo às vezes bastante longo.

2.3.2 Procedimentos para obtenção de dados

A presente pesquisa constitui uma tentativa de acessar a forma com que os alunos entendem a noção de modelização no ensino da Física. Em uma perspectiva relativamente ampla, é de interesse acessar a visão destes alunos acerca da atividade do Projeto Temático como um todo: o que pensam sobre a contribuição desta atividade à sua formação, sobre quais seriam os aspectos essenciais do conceito de Projeto Temático, suas dificuldades e suas opiniões relacionadas à metodologia das aulas.

Este interesse se justifica, pois, conforme já foi abordado em capítulos anteriores, o grande desafio desta atividade consiste na produção de um conteúdo novo no sentido de ser um produto de uma nova Transposição Didática, desenvolvida pelos licenciandos. E esta nova Transposição Didática, como também já foi mencionado, contempla a modelização como um elemento essencial que confere seu caráter autêntico e inovador. Nessa perspectiva, é de se esperar que parte das dificuldades, aprendizados, atitudes e opiniões dos alunos em relação à atividade dos Projetos Temáticos esteja relacionada com dificuldades, etc. que se referem também aos processos de construção, apropriação e ensinabilidade dos modelos.

Como já foi dito, na disciplina anterior (INSPE A) os licenciandos foram apresentados a referenciais teóricos sobre a Modelização, em particular os estudos de Pietrocola (1999; 2002) e Pinheiro (1996). Fazendo o papel de exemplares, são apresentadas e discutidas as propostas de Pinheiro (1996) de atividades de modelização. Dessa forma são ali fornecidos exemplos práticos e também fundamentos teóricos, principalmente no trabalho de Pietrocola, o qual se apóia, do ponto de vista epistemológico, na concepção de Mario Bunge sobre os modelos científicos.

A partir destes subsídios teóricos e das informações que foram percebidas durante a fase piloto da pesquisa, através das observações e questionários, surgiram os primeiros indícios de categorias que permitissem classificar as possíveis compreensões de modelo, que serão expostas mais adiante. Para a elaboração do quadro de categorias foi necessária também a realização de uma leitura flutuante do conteúdo dos projetos produzidos pelos licenciandos nos anos anteriores.

Até este ponto foram apresentados os encaminhamentos referentes à fase preliminar da pesquisa, que conduziram ao planejamento da metodologia e dos instrumentos e

à proposição das categorias de análise. Passemos agora a descrever os procedimentos realizados para a obtenção dos dados que serão efetivamente analisados nesta investigação.

Com o objetivo de obter um panorama geral, acessando o maior número possível de licenciandos, foram aplicados questionários com perguntas fechadas, direcionados tanto a alunos egressos do curso como também a cursistas que já tenham concluído a disciplina INSPE B. As questões feitas procuravam obter informações relativas a 1) considerações sobre sua participação na confecção de projetos temáticos; 2) considerações sobre a metodologia da atividade; 3) dificuldades encontradas durante o processo; e 4) o conceito de modelo. Nas partes 1 e 2, o questionário foi estruturado segundo a escala de Likert, enquanto nas partes 3 e 4 se optou por escalas de ranking forçado. A aplicação deste questionário foi importante por permitir, por um lado, uma avaliação da atividade de construção de Projetos Temáticos do ponto de vista dos licenciandos e alunos egressos e, além disso, fornecer parte dos subsídios sobre a compreensão de modelo adotada por estes sujeitos. Este questionário encontra-se no Anexo III. Os resultados obtidos são apresentados na seção 3.2.

Outra fonte de informações importante foi a análise dos projetos produzidos ao longo dos últimos anos. Essa análise foi elaborada tendo em vista acessar a compreensão dos alunos autores dos projetos acerca da noção de modelos e modelização no ensino da Física. Conforme se argumentou no capítulo de fundamentação teórica, a compreensão de modelização está relacionada diretamente com o particular conceito de modelo adotado por seu proponente. Adotaremos isto como um pressuposto, de modo que as categorias de análise se referem a possíveis conceitos de modelo. Estas categorias foram diretamente aplicadas aos conteúdos dos projetos analisados. Os dados obtidos são apresentados na seção 3.1.

Embora a forma de estruturar os conteúdos apresente consideráveis variações entre os diferentes projetos, em muitos deles os autores fazem referência específica aos termos “modelo” e “modelização”, freqüentemente propondo atividades que se destinam a modelizar determinados conceitos, fenômenos ou relações. Aqueles que apresentavam esta referência foram selecionados para análise e categorização, buscando obter a freqüência relativa das categorias. Este procedimento visou obter um panorama geral das noções expressas pelos alunos quando confrontados com uma situação prática e também permitiu comparar estas noções com aquelas manifestadas nas respostas do questionário.

No capítulo que segue passa-se à apresentação e discussão das informações obtidas.

CAPÍTULO III. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Conforme descrito em nossa exposição dos aspectos metodológicos, esta pesquisa lançou mão de dois principais recursos para a obtenção dos dados empíricos: a análise de conteúdo, que teve como objeto os Projetos Temáticos produzidos nos últimos anos, e a aplicação de questionários, implementada junto a uma amostra de licenciandos e ex-alunos do curso. Na primeira seção deste capítulo, são apresentadas e exemplificadas as categorias de análise construídas para a interpretação do conceito de modelo expresso pelos licenciandos através das propostas de modelização identificadas em seus Projetos Temáticos. São também apresentados os resultados, na forma das frequências relativas de cada categoria no interior da amostra pesquisada. Esta seção é finalizada com as interpretações e conclusões destes resultados. A segunda seção é dedicada à análise dos dados obtidos através da aplicação dos questionários. As questões são descritas e discutidas, juntamente com a apresentação dos resultados obtidos para cada questão e considerações acerca destes resultados. O capítulo é finalizado com as conclusões gerais da pesquisa e algumas considerações finais.

3.1. ANALISANDO OS PROJETOS TEMÁTICOS

Ao examinar algumas compreensões de modelização apresentadas por distintos autores na literatura da educação científica, na seção 1.2.1, um dos aspectos que pôde ser percebido é que cada compreensão se fundamenta no particular conceito de modelo admitido por seu proponente. De forma semelhante, durante a análise dos Projetos Temáticos confeccionados por licenciandos em anos anteriores, foi possível encontrar propostas de atividades de modelização as quais deixavam transparecer determinadas concepções sobre o que é um modelo na Física. A partir desta percepção, foi possível explorar a possibilidade de localizar padrões na concepção de modelo que os licenciandos autores destes Projetos manifestavam, implicitamente, nestas propostas.

Para esse fim, foi realizada uma análise de conteúdo em 29 Projetos Temáticos, dentre cerca de 35 a 40 dos Projetos elaborados na disciplina “Instrumentação para o Ensino de Física B”. Este número equivale a todos os projetos arquivados junto aos docentes da disciplina que encontravam-se disponíveis para o acesso por ocasião da pesquisa e em condições de utilização para esta análise.

Foram analisadas unicamente as versões impressas e os Projetos analisados foram elaborados entre 2002 e 2008. A listagem destes projetos pode ser vista na Tabela 3.1. O processo inicial de codificação do material consistiu em registrar as ocorrências dos termos “modelo” e “modelização”, que aparecem com diferentes frequências em cada Projeto, para posteriormente analisar o significado de cada ocorrência em seu respectivo contexto. Para esta análise, no caso do termo “modelização”, foi necessária uma leitura cuidadosa de cada descrição da atividade de modelização proposta. No caso do termo “modelo”, notou-se que a quase totalidade das ocorrências se refere a expressões clássicas no jargão da Física, como “modelo atômico”, ou “modelo do gás ideal”, etc.

O referencial teórico que fundamenta nossa discussão sobre modelos, em conjunto com a análise feita sobre os diversos sentidos do termo modelização na literatura da pesquisa em educação científica, permitiram uma interpretação das propostas de modelização feitas pelos licenciandos autores de Projetos Temáticos. Após esta leitura destes Projetos relacionados na Tabela 3.1, procurou-se agrupar as ocorrências que apresentavam características principais em comum. Confrontando o conteúdo destas características com as considerações teóricas é que foram sendo construídas as categorias de análise.

Estas categorias serão descritas e exemplificadas nas páginas que seguem. São elas: *caixa-preta*, *análogo ou simulacro*, *objeto-modelo* e *atividades experimentais de outra natureza*. Logo após a caracterização de cada categoria, apresenta-se os resultados obtidos, indicando em uma tabela a quantidade de ocorrências da respectiva categoria em cada projeto analisado em comparação ao total de ocorrências do termo “modelização” ou “modelo” no correspondente Projeto. Os resultados também não expressos nas tabelas em termos do número médio de ocorrências de cada categoria por Projeto e da frequência relativa da categoria em relação ao total de Projetos analisados.

Tabela 3.1. Projetos Temáticos analisados.

Ano	Título do Projeto
2002	Onda, Onda, Olha a Onda
2003	Curtindo um Som
	Entre nessa Microonda
2004	A Física dos Mágicos
	Entre nessa Microonda [2]
	Faraday Induz a Festa
	Por que Usar Óculos?
	Voando Alto com Daiane dos Santos
	Você Sabe Curtir um Som?
2005	Máquinas Hidráulicas
	O Mundo das Cores
	Ondas Sísmicas
	Venha Curtir um Som
2006	Laser e a Formação de Imagens no Céu
	Células Solares
	O Buraco na Camada de Ozônio
	Computadores: das Válvulas aos Microchips
	Nascimento e Morte de Estrelas
	O Céu Azul, o Arco-Íris e o Pôr do Sol
2007	Céu em Chamas: das Auroras Polares aos Raios Cósmicos
	Levitando Trens com Supercondutores
	Medidas de Temperatura: Alto forno à Criogenia
	O Mar e o Surf
	Radiações e Formação de Imagens na Medicina
	Vamos Copiar? Da Fotocópia à Cópia Colorida
2008	Entrando Numa Fria
	O Campo Magnético da Terra
	O Mar e o Surf [2]
	Rumo ao Invisível com os Microscópios

3.1.1. Caixa-preta

Agrupa os casos nos quais o modelo a ser construído é do tipo caixa-preta, conforme a descrição desta espécie de modelo teórico que já foi apresentada, no capítulo inicial desta dissertação, por ocasião da apresentação do referencial teórico. Em suma, a caixa-preta é um modelo matemático que expressa as relações entre as variáveis do objeto ou evento modelizado, interpretado em termos de variáveis intervenientes destituídas de referência concreta. Ao empregar esta noção como uma categoria de análise, porém, parece necessário considerar alguns dos aspectos apontados por Bunge como possíveis fontes de entendimentos equivocados deste conceito.

É preciso notar, por exemplo, que não há uma relação de implicação entre a abordagem “caixa-preta” e “macroscópica”. Isto é, uma entidade macroscópica pode ser objeto de uma abordagem representacional, assim como um sistema microscópico pode ser tratado como uma caixa-preta. Outro possível mal-entendido está na idéia de que os modelos desta espécie contêm apenas variáveis diretamente observáveis. Esta interpretação é falsa porque em muitos casos os valores atribuídos à variáveis são obtidos de forma indireta: basta pensar que a intensidade de uma força, em um dinamômetro, é inferida a partir da deformação de uma mola, e os valores de corrente elétrica em um circuito são lidos em equipamentos os quais, para serem construídos, também precisaram de ajuda da teoria. Um terceiro equívoco relevante para o contexto do ensino está na afirmação de que o modelo do tipo caixa-preta é puramente descritivo. Embora seja verdade que a explicação fornecida seja superficial, não é correto dizer que não proporcione nenhuma explanação no sentido lógico do termo, ou seja, subsunções de afirmações singulares a afirmações gerais (BUNGE, 1974, p. 72).

As referências à modelização encontradas no material pesquisado e que foram classificadas na categoria de caixa-preta, tipicamente, envolvem uma seqüência básica de procedimentos que se assemelha à modelização de variáveis proposta por Pinheiro (1996). Ou seja, é proposta uma atividade experimental na qual são realizadas medidas de variáveis dependentes em função de variações nas variáveis independentes, obtendo-se uma tabela de pares de dados do tipo $(x, f(x))$. Em seguida se confecciona um gráfico, traçando-se a “melhor curva”, a qual por sua vez é utilizada para obter o valor da variável interveniente. Ao contrário dos exemplares propostos por Pinheiro, entretanto, os casos aqui inseridos não

contemplam uma discussão do significado da variável interveniente, praticamente limitando-se a obtenção da expressão matemática. Além disso também não contêm, na atividade proposta, alguma discussão direcionada à articulação entre o modelo empírico e a teoria geral concernente ao objeto ou evento analisado. Eventualmente este tipo de discussão pode aparecer em momentos posteriores no planejamento do Projeto, porém não é identificado como parte da Modelização.

Algumas ocorrências registradas nesta categoria apresentam variações na seqüência de procedimentos descrita. Por exemplo, em alguns casos, não é proposta a confecção do gráfico, apenas a tabela de dados: esta proposição em geral é feita em atividades nas quais as duas variáveis em questão apresentam o mesmo valor, como é o caso da lei da reflexão e da relação entre a distância do objeto e a distância da imagem em espelhos planos.

Em vista destas variações, é necessário ressaltar que a categoria aqui denominada de “caixa-preta” não representa uma identificação total com a idéia de modelização de variáveis tratada por Pinheiro (1996). A característica observada para a classificação de alguma ocorrência nesta categoria é a de propor uma atividade experimental na qual sejam registrados valores de variáveis dependentes e independentes para que se obtenha uma relação entre estas.

Alguns exemplos típicos classificados nesta categoria são apresentados a seguir.

Exemplo 1:

Para trabalhar a força de atrito que existe entre o surfista e a prancha vamos fazer um experimento modelizador. (...) Os alunos primeiramente deverão prender um dos objetos no dinamômetro sobre a mesa e puxá-lo lentamente até que o objeto inicie o movimento, anotando na tabela o valor registrado no dinamômetro instantes antes do movimento ao lado do peso do referido objeto. O procedimento será repetido acrescentando-se os outros objetos sistematicamente. O gráfico será de $F \times P$, onde F é a força registrada no dinamômetro e P é o peso total dos objetos. Como o gráfico resultará em uma reta, mostraremos que as duas grandezas são proporcionais a menos de uma constante (coeficiente de atrito estático), que será calculada em seguida com os pontos da reta. O mesmo será feito ao acrescentarmos uma lixa debaixo dos objetos, verificando que há uma mudança no coeficiente de atrito. (O MAR E O SURF , p. 12 – 13).

As instruções e tabelas para a execução da atividade estão também contidas no Projeto “O Mar e o Surf”. O objetivo desta atividade é responder à questão do porquê a parafina impede ou dificulta que o surfista escorregue sobre a prancha. Não é discutido o significado da variável interveniente, que nesse caso corresponde ao coeficiente de atrito. Isto poderia ter sido feito, por exemplo, tratando a origem da força de atrito do ponto de vista microscópico.

É interessante notar que o modelo teórico que é obtido de acordo com este procedimento contém um erro interpretativo, pois relaciona a força de atrito com o peso do objeto e não com a força normal. Na atividade proposta, o objeto se encontra sobre um plano horizontal, de maneira que o peso e a normal têm mesma intensidade e por isso acaba “funcionando”. Porém, o mesmo não acontece com o referente pretendido – o surfista tentando se equilibrar com sua prancha sobre uma onda.

Exemplo 2:

Atividade experimental de modelização da Lei de Snell: (...) Faça com que o feixe de luz incida no semicilindro (...) Com o transferidor, meça os ângulos de incidência (θ_1) e de refração (θ_2), na superfície plana (...) Preencha a tabela com os resultados obtidos. Agora, faça um gráfico de $\sin \theta_1$ em função de $\sin \theta_2$. Trace a melhor reta entre os pontos que você obteve no gráfico. A inclinação da reta obtida deverá ser igual ao índice de refração do acrílico. (ONDAS SÍSMICAS, p. 54).

Aqui a variável dependente é o ângulo de refração e a variável independente é o ângulo de incidência, e novamente temos a seqüência de registro de dados, tratamento matemático e obtenção do modelo. A variável interveniente é simplesmente chamada de “índice de refração” sem maiores esclarecimentos quanto ao significado, o que neste caso acabaria exigindo alguma alusão à estrutura do material refrator.

Exemplo 3:

Modelizar a velocidade de propagação da onda. [...] Gerador de áudio-freqüência. Ligar o equipamento [...] Alterar as freqüências, criando uma onda completa, anotar na tabela o comprimento de onda. [...] Alterar novamente a freqüência, criando uma onda e meia, anotando os dados na tabela. Passar a analisar a tabela, observando que o aumento da freqüência, diminui o comprimento de onda. Se multiplicarmos a freqüência e o comprimento de onda, teremos uma quantidade que permanece constante, é a velocidade de propagação da onda, $v = \lambda f$. (ENTRE NESSA MICROONDA, p. 22-24)

Nesse caso temos a freqüência e o comprimento de onda como variáveis independente e dependente, respectivamente. Não se solicita nesta atividade a questão do gráfico, talvez porque a relação de proporcionalidade entre as variáveis seja inversa. É interessante notar que nesta categoria de atividades os autores somente propõem a construção de gráficos quando a relação entre as variáveis for uma proporção direta.

Exemplo 4:

Modelização – reflexão em ondas eletromagnéticas [...] o objetivo nesta parte é demonstrar a Lei da Reflexão, que é válida para ondas mecânicas e eletromagnéticas, que são os dois tipos estudados neste mini-curso. Material necessário: conjunto gerador/receptor de microondas, chapa de metal, suporte. Com essa montagem, procuramos evidenciar as leis da reflexão, usando como refletor um anteparo (placa) de metal. Variar o ângulo, conforme indicação da tabela [...] através

das medidas e dentro do erro experimental, ficou evidenciada a relação:
 $\theta_{inc} = \theta_{refl}$. (ENTRE NESSA MICROONDA, p. 4)

Neste quarto exemplo temos uma situação em que a variável interveniente tem valor igual a 1. Um aspecto que se destaca em todas as atividades desta categoria, mas que talvez fique mais evidente nos exemplos 2 e 4, é a ausência de explicitação do objeto-modelo. Em ambos, não se fala sobre o modelo de luz que está sendo imaginado. Por exemplo, no caso da lei da reflexão, possivelmente o experimento permita encontrar valores próximos do ângulo de incidência, porém uma boa argumentação teórica permitiria reforçar a interpretação da variável interveniente como sendo igual a 1. Para essa argumentação teórica poderiam ser imaginados pelo menos três objetos-modelo diferentes para a luz: frentes de onda (princípio de Huygens); raios (princípio de Fermat) e corpúsculos (mecânica newtoniana). Uma abordagem teórica da modelização da lei da reflexão poderia ser feita desenvolvendo um destes objetos-modelo em seu respectivo quadro teórico. Obter-se-ia o mesmo modelo teórico explicitado na proposta experimental dos autores do exemplo 4. Nenhum procedimento deste tipo, porém, foi identificado como modelização na amostra de Projetos Temáticos analisados.

Exemplo 5:

Modelização: Número de imagens. Objetivo: constatar que dois espelhos planos podem formar várias imagens e que o número delas depende do ângulo por eles formado. (...) Procedimento: Colar os dois espelhos com a fita adesiva e medir o ângulo entre os espelhos com o transferidor. Funcionamento: Os espelhos verticais articulados podem ser movimentados de forma a variar o ângulo entre eles. Diminuindo o ângulo entre os espelhos, o número de imagens aumenta, tendendo a infinito à medida que os espelhos se aproximam. (A FÍSICA DOS MÁGICOS, p. 37)

Neste exemplo a particularidade em relação aos demais é que não se enuncia o modelo matematicamente. Em lugar disso, a relação entre as grandezas envolvidas é descrita verbalmente, de forma qualitativa. Ainda assim, mantém-se de acordo com a descrição tomada como critério para esta categoria. Parece provável que os proponentes desta atividade não tenham colocado o procedimento de registro de dados em tabela, gráfico, etc., ao perceber que este tipo de curva não é de fácil interpretação para os alunos, pois o modelo teórico para a associação de espelhos planos tem a forma $N = \frac{360^\circ}{\theta} - 1$.

Tabela 3.2. Resultado da análise para a categoria Caixa-preta.

Título do Projeto	Propostas de modelização	
	TOTAL	Caixa – preta
Onda, Onda, Olha a Onda	3	0
Curtindo um Som	4	1
Entre nessa Microonda	3	2
A Física dos Mágicos	4	3
Entre nessa Microonda [2]	3	1
Faraday Induz a Festa	3	1
Por que Usar Óculos?	5	3
Voando Alto com Daiane dos Santos	5	0
Você Sabe Curtir um Som?	1	0
Máquinas Hidráulicas	3	0
O Mundo das Cores	4	2
Ondas Sísmicas	5	1
Venha Curtir um Som	4	1
Laser e a Formação de Imagens no Céu	2	0
Células Solares	1	0
O Buraco na Camada de Ozônio	1	0
Computadores: das Válvulas aos Microchips	4	0
Nascimento e Morte de Estrelas	1	0
O Céu Azul, o Arco-Íris e o Pôr do Sol	1	1
Céu em Chamas: das Auroras Polares aos Raios	1	0
Levitando Trens com Supercondutores	2	0
Medidas de Temperatura: Alto forno à Criogenia	5	0
O Mar e o Surf	3	2
Radiações e Formação de Imagens na Medicina	6	0
Vamos Copiar? Da Fotocópia à Cópia Colorida	3	0
Entrando Numa Fria	2	0
O Campo Magnético da Terra	1	0
O Mar e o Surf [2]	1	1
Rumo ao Invisível com os Microscópios	2	0
TOTAL	83	19
Número médio de ocorrências por projeto	0,66	
Frequência da categoria em relação ao total	22,9%	

3.1.2 Análogo ou Simulacro

Nesta classe foram agrupados os casos que manifestam uma compreensão de modelo baseada em uma relação analógica. Esta analogia tanto pode ser substancial, quando os objetos análogos partilham de propriedades objetivas (dois átomos quaisquer, por exemplo), como pode ser formal, quando há uma correspondência entre propriedades ou partes dos objetos (por exemplo, a migração de íons e a migração humana, ou a analogia entre um circuito elétrico com um sistema hidráulico). Uma analogia substancial implica uma analogia formal, porém o inverso não é verdadeiro.

Quando a analogia é simétrica³⁵, reflexiva³⁶ e transitiva³⁷, torna-se uma relação de simulação. O conjunto de todos os simulacros de um dado objeto é uma classe de equivalência com respeito à relação simulada (BUNGE, 1974). A simulação é, portanto, uma relação bem mais forte do que a analogia. Não obstante, optou-se por estipular uma categoria que pudesse abranger ambas as relações, pois, para os fins desta investigação, basta considerar-se que o análogo ou simulacro “... *de um dado sistema é um objeto que copia este último em algum aspecto, tal como formato ou função*” (BUNGE, 1974, p. 190).

Os análogos e simulacros de um objeto real constituem um subconjunto dos objetos-modelo e podem ser tanto materiais quanto conceituais. No primeiro caso podemos citar como exemplos maquetes, modelos de esferas para moléculas, atividades experimentais de simulação, etc. Para o segundo caso poderíamos exemplificar imaginando que...

... uma pessoa que não merece confiança pode ser encarada como uma máquina para venda automática, quebrada, que libera as mercadorias apenas em uma fração do tempo que gasta para engolir uma moeda. Este é um exemplo de análogo ou simulacro: a coisa real (o indivíduo indigno de confiança) é modelada segundo um sistema de uma espécie conhecida (uma máquina quebrada) e o objeto modelo resultante pode ser engastado numa teoria genérica, ou seja, a teoria markoviana das máquinas (BUNGE, 1974, p. 37).

A seguir são apresentados e comentados alguns casos típicos classificados nesta categoria.

³⁵ Se x simula y , então y simula x , ou seja, o original imita seu simulacro.

³⁶ Qualquer objeto é um simulacro de si mesmo.

³⁷ Se x simula y e y simula z , então x simula z . Também é chamada de *analogia de contágio* (BUNGE, 1974).

Exemplo 1:

Modelizar elasticidade experimentalmente: (...) Colocar os pedaços de espuma de borracha sobre uma mesa ou bancada onde possam ser observados claramente pelos alunos. Os blocos representam placas tectônicas. Mantendo um dos blocos de espuma de borracha fixos, empurrar o outro longitudinalmente na direção do primeiro, comprimindo-os lentamente. Observar a deformação do material. Indagar os alunos: Podemos comparar os blocos de espuma com as molas e os elásticos? A resposta esperada é que sim, podendo prosseguir assim para a próxima pergunta. Caso isto não ocorra, o professor deverá comprimir um dos blocos de espuma e uma mola para que os alunos vejam que os dois têm um comportamento semelhante, saltando a próxima pergunta. (ONDAS SÍSMICAS, p. 13)

Neste exemplo tem-se uma relação analógica entre diversos elementos que compartilham algumas propriedades. Assim, os blocos de espuma de borracha simulam o comportamento de molas e elásticos, que por sua vez simulam as placas tectônicas que são também simuladas pelos blocos de espuma de borracha. A propriedade simulada é a elasticidade, destacada chamando-se atenção para a deformação sob ação de uma compressão, e posterior retorno à forma original quando liberada, salvo quando se excede o limite elástico. Outras propriedades compartilhadas entre estes elementos podem ser imaginadas considerando a passagem de uma onda (já que o tema é “ondas sísmicas”), como a dependência da velocidade da onda com a tensão e com a densidade do meio. Dadas estas observações, parece que estes elementos podem ser entendidos como uma classe de equivalência com respeito à elasticidade.

Exemplo 2:

A modelização será trabalhada de forma a tentar demonstrar para os alunos que as reações químicas precisam de elevada temperatura para que as moléculas se colidam com força suficiente para fazer suas ligações químicas se romperem, permitindo novas ligações químicas com outros elementos que estão no ambiente. [...] para demonstrar tal fato, pode-se utilizar duas ou mais bolinhas de gude ou argila. Ao arremessar uma contra a outra, veremos que, com baixa velocidade de impacto, as bolinhas sairão ilesas do choque. Ao aumentar muito essa velocidade, as bolinhas se romperão. Sendo que as bolinhas representam as moléculas presentes no ambiente e, ao se partirem, simbolizam seus átomos sendo “espalhados”, pois suas ligações químicas foram rompidas. (MEDIDAS DE TEMPERATURA: ALTO FORNO À CRIOGENIA, p. 36).

O rompimento da molécula é simulado pelo rompimento de bolinhas de gude ou argila e a correspondência se encontra na relação da energia com o rompimento ou não-rompimento. Ocorre, porém, uma quebra de simetria em pelo menos um aspecto que é importante para a simulação pretendida. Pois o objetivo colocado é “... *tentar demonstrar [...] que as reações químicas precisam de elevada temperatura para que as moléculas se colidam*

com força suficiente para fazer suas ligações químicas se romperem”. Implicitamente, a temperatura está sendo relacionada com a velocidade das moléculas, que no caso são os objetos que colidem. E isto não é verdadeiro para as bolinhas de gude ou argila: a velocidade destes corpos macroscópicos não pode ser assim relacionada com a temperatura.

A próxima ocorrência descrita a seguir constitui um exemplo bastante claro de analogia formal na qual o objeto e seu análogo não compartilham quaisquer propriedades objetivas.

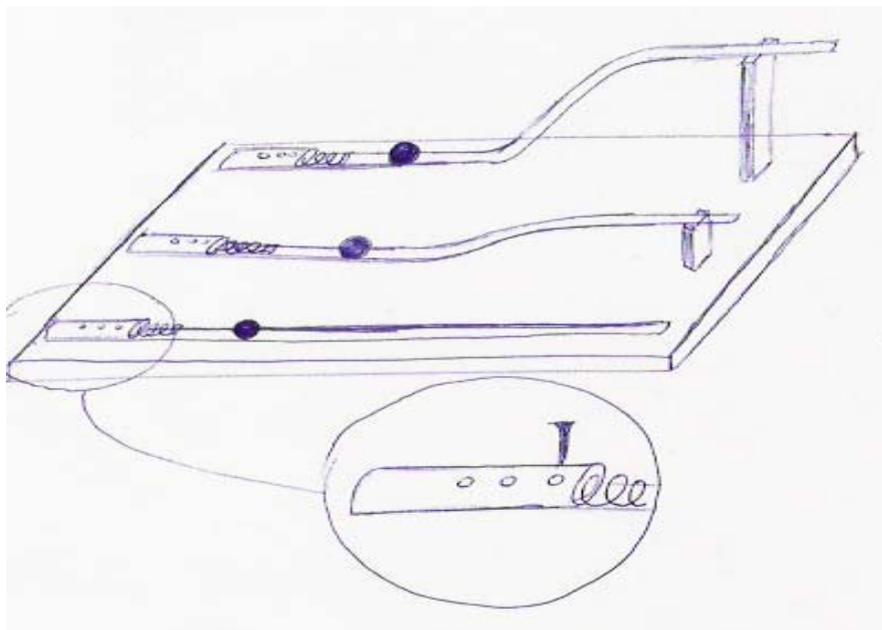
Exemplo 3:

Uma série de 3 trilhos são colocadas uma ao lado da outra em uma superfície, como uma mesa ou uma prancha plana. O primeiro trilho é plano, o segundo tem uma pequena parte plana um aclave suave e uma outra parte plana, o terceiro tem um aclave bem grande após uma pequena parte plana e terminando em uma outra pequena parte plana. Todos os trilhos tem um sistema de propulsão, onde uma bola é lançada no trilho, o sistema de propulsão deve ser quantizado, ou seja o aluno deve poder lançar a bola apenas com quantidades de energia proporcionais a números inteiros. [...] Após comprimida a mola, coloca-se o prego no furo feito, tirando-se o prego a mola se distende e propulsionando a bolinha. A intenção do modelo é que no trilho plano qualquer ponto que a mola seja colocada possa tirar a bolinha do trilho, no trilho com um grande aclave, nenhuma propulsão da mola é suficiente para levar a bolinha até a outra ponta do trilho, já na situação intermediária devemos ter as duas possibilidades acontecendo, para algumas contrações da mola a bolinha sai do trilho e para outras não (VAMOS COPIAR? P. 16-17).

Na figura 3.1 pode ser visualizado um esquema do aparato experimental construído nesta proposta do Projeto “Vamos Copiar?”. A analogia que se pretende fazer é relacionar os diferentes trilhos com as possibilidades de condução de eletricidade em materiais com diferentes propriedades. Os trilhos representam a eletrosfera e a bolinha representa um elétron. A maior ou menor compressão da mola simboliza a maior ou menor energia do fóton incidente, a qual é transferida ao elétron que se encontra na eletrosfera.

Assim, o trilho plano horizontal representa um material condutor, pois mesmo para uma pequena quantidade de energia ele deixa a bolinha escapar do trilho, ou seja, o elétron escapar do átomo. O trilho que tem o aclave mais acentuado representa um isolante, pois mesmo para a maior energia que se consiga fornecer, a bolinha não consegue subir até o ponto mais alto da inclinação, e assim o elétron nunca consegue sair do átomo. O trilho do meio, que apresenta um aclave intermediário, representa o material semicondutor. Nele as duas situações são possíveis. Para uma grande compressão da mola, a bolinha consegue sair do trilho, porém não consegue caso a compressão não seja suficiente.

Figura 3.1. Esquemática do aparato experimental de modelização de um semiconductor. Extraído do projeto “Vamos Copiar?”, p. 16.



Análogos “imaginários”, isto é, desacompanhados de alguma atividade ou aparato experimental, foram encontrados em uma frequência muito menor, e por este motivo não foram agrupados em uma categoria separada. O exemplo seguinte refere-se a uma ocorrência deste tipo. Essencialmente, o único aspecto diferente deste exemplo em relação aos demais apresentados é que seus autores não propuseram alguma atividade experimental em sua elaboração.

Exemplo 4:

Uma vez que o modelo atômico de Bohr é fundamental para o entendimento da emissão de luz no laser e no plasma gasoso, o professor vai usar da seguinte analogia para compreensão do modelo. Imaginemos que a Terra seja o núcleo atômico e que os elétrons sejam pessoas ocupando degraus de uma escada muito grande. Para uma pessoa “saltar” para um degrau imediatamente superior ao que estava, esta precisa gastar uma certa quantidade de energia. Para onde foi essa energia gasta pela pessoa, uma vez que a energia não pode ser destruída, apenas transferida? Esta energia fica armazenada no sistema Terra-pessoa na forma de energia potencial gravitacional. Com o elétron acontece coisa semelhante; a única diferença é que ele pode mudar para um nível superior apenas quando recebe energia de um meio externo (uma outra partícula que colida com ele, por exemplo). No caso de uma pessoa que “salta” para um degrau mais baixo, ela não precisa de nenhum esforço para tanto, bastando deixar seu corpo “cair”. Quando isto acontece, o sistema Terra-pessoa perde parte da energia potencial na forma de energia de movimento (cinética). Novamente, com o elétron acontece algo semelhante: quando ele decai para um nível menor, ele também perde energia, porém não na forma de energia cinética, mas sim, emitindo um fóton de energia, que em determinadas circunstâncias pode estar na faixa da luz visível. (LASER E A FORMAÇÃO DE IMAGENS NO CÉU, pág. 12).

Pode-se notar que a analogia estabelecida neste caso também se restringe ao seu caráter formal, pois o sistema Terra-pessoa e o modelo atômico não são objetivamente iguais em nenhum aspecto. Mesmo em suas partes pretensamente correspondentes, esta correspondência é frouxa, pois, como os próprios autores da proposta notaram, a pessoa pode subir espontaneamente o degrau da escada, mas o mesmo não ocorre para o elétron em seu nível energético.

O modelo atômico, aliás, parece ser o mais atraente para o estabelecimento de relações analógicas, a julgar pelas propostas nesta categoria percebidas nos Projetos Temáticos. Isto não é de surpreender, levando em conta que o estudo do átomo de fato suscita uma série de aspectos não-familiares, contra-intuitivos e para os quais o acesso é muito mais indireto em comparação aos corpos macroscópicos. Enquanto no exemplo 4 o aspecto que foi objeto de uma analogia concerne à transição do elétron entre os diferentes níveis de energia, o próximo exemplo tenta explicar analogicamente a idéia presente na mecânica quântica de que o elétron num átomo não tem posição definida.

Exemplo 5:

Modelo do átomo quântico [...] Agora, direcionamos a atenção para a matéria e veremos o modelo atômico segundo a visão da física quântica e como está inserido neste a frequência pertencente à matéria. Introduza que será mostrado uma interpretação atômica diferente da visão de que o átomo (átomo de Bohr) é uma carga positiva com pontinhos (elétrons) que circulam em torno deles. Utilizando uma caneta e um CD que tem um ponto pintado em sua superfície (com diâmetro aproximado de uma moeda de 10 centavos). Mostre o CD e com ele parado faça uma analogia com o átomo de Bohr, ou seja, o centro do CD é o núcleo do átomo e o pontinho pintado é um elétron. Introduza a caneta no centro do CD e gire-o em torno do mesmo vagarosamente, mostrando que o pontinho pode ser determinado como um ponto em todas as posições em torno do centro do CD. [...] fale também que o elétron representado no CD pode assumir níveis de energia dependendo da quantidade de energia que ele absorve. Isso significa que o pontinho no CD se afastaria do centro do CD quanto este “átomo CD absorvesse energia. Vamos, agora, ver o “átomo CD” de uma visão diferente. Gire bem rápido, o CD em torno da caneta que esta passando pelo centro do mesmo. Peça aos alunos para identificarem o pontinho pintado no CD quando ele está girando. Diferentemente que foi realizado com o CD no início deste modelo não será possível identificar o local exato que este pontinho está. Nesta situação o pontinho deixou de existir e deu lugar a uma linha que parece ter sido pintado em torno do CD. Pare o CD e mostre que o ponto existe. Torne a girar o CD bem rápido e pergunte aos alunos onde está o pontinho. Não existe uma resposta exata, apenas sabemos que ele está girando em torno do centro do CD e provavelmente será encontrado em algum local da linha traçada pelo ponto ao girar. (O BURACO NA CAMADA DE OZÔNIO, p. 11-12).

Tabela 3.3. Resultado da análise para a categoria Análogo ou Simulacro.

Título do Projeto	Propostas de modelização	
	TOTAL	Análogo/Simulacro
Onda, Onda, Olha a Onda	3	0
Curtindo um Som	4	3
Entre nessa Microonda	3	0
A Física dos Mágicos	4	1
Entre nessa Microonda [2]	3	2
Faraday Induz a Festa	3	1
Por que Usar Óculos?	5	2
Voando Alto com Daiane dos Santos	5	1
Você Sabe Curtir um Som?	1	0
Máquinas Hidráulicas	3	0
O Mundo das Cores	4	0
Ondas Sísmicas	5	1
Venha Curtir um Som	4	1
Laser e a Formação de Imagens no Céu	2	2
Células Solares	1	0
O Buraco na Camada de Ozônio	1	1
Computadores: das Válvulas aos Microchips	4	1
Nascimento e Morte de Estrelas	1	0
O Céu Azul, o Arco-Íris e o Pôr do Sol	1	0
Céu em Chamas: das Auroras Polares aos Raios	1	1
Levitando Trens com Supercondutores	2	0
Medidas de Temperatura: Alto forno à Criogenia	5	1
O Mar e o Surf	3	0
Radiações e Formação de Imagens na Medicina	6	1
Vamos Copiar? Da Fotocópia à Cópia Colorida	3	2
Entrando Numa Fria	2	1
O Campo Magnético da Terra	1	1
O Mar e o Surf [2]	1	0
Rumo ao Invisível com os Microscópios	2	1
TOTAL	83	24
Número médio de ocorrências por projeto	0,83	
Frequência da categoria em relação ao total	28,9%	

3.1.3 Objeto-modelo

Nesta categoria foram classificados os sentidos de “modelo” ou de “modelização” nos quais fosse possível identificar o que Bunge denominou de objeto-modelo, isto é, uma representação idealizada e abstraída de um objeto real, conforme se discutiu ao longo do primeiro capítulo desta dissertação. O objeto-modelo pode ser entendido como uma descrição ou uma listagem das propriedades atribuídas a um certo objeto. Por exemplo: um átomo pode ser imaginado como uma distribuição homogênea esfericamente simétrica de carga positiva salpicada de cargas pontuais negativas. Outro exemplo: um sólido pode ser representado como uma estrutura de moléculas regularmente ordenadas, que se mantém a distâncias fixas. Ainda: diferentes objetos-modelo possíveis para modelar o planeta Terra podem ser: uma massa pontual; uma esfera homogênea; uma esfera consistindo de camadas de diferentes densidades; etc.

É necessário observar que, apesar da nomenclatura, nem todos os construtos classificados por Bunge como objetos-modelo foram inseridos nesta categoria, pois um subconjunto destes já foi classificado em outra categoria: a dos análogos ou simulacros. Conseqüentemente, nesta análise de conteúdo, ao empregar o termo “objeto-modelo” estaremos nos referindo exclusivamente aos objetos-modelo não-analógicos. Portanto são excluídos desta categoria os usos da palavra “modelo” referidos a desenhos, maquetes, etc., embora este tipo de recurso possa *acompanhar* um texto classificado nesta categoria. A característica determinante para a categorização em “objeto-modelo” é que se perceba, na proposta analisada, a intenção de se veicular uma descrição conceitual do objeto, que não seja exclusivamente através de uma analogia ou de um desenho, mas da atribuição de suas propriedades. É o caso de ocorrências como as listadas a seguir.

Exemplo 1:

Modelização: (...) adotaremos um tipo de modelo conhecido como imaginário, e assim propor que a estrutura imaginária se assemelhe ao máximo da estrutura real que pretendemos comparar. Frasco de Dewar: [ilustração esquemática de um tubo de Dewar, ou garrafa térmica] (...) Tampa: Impede o contato com o ar externo evitando assim o processo de convecção. Paredes Espelhadas: Impedem o processo de radiação. Vácuo: Impede o processo de convecção e condução, já que os mesmos não se propagam no vácuo. (MEDIDAS DE TEMPERATURA: ALTO FORNO À CRIOGENIA, p. 29)

Nesta modelização é proposta uma representação para um recipiente real atribuindo-lhe propriedades que são apenas aproximadamente conseguidas, obtendo-se assim uma esquematização de um recipiente isolante. Claro está, para o proponente e para o leitor treinado em Física, que a tampa, as paredes, etc., não impedem e sim dificultam a troca de calor com o ambiente externo. É bastante possível, por outro lado, que para um estudante que inicia sua aprendizagem científica não esteja tão claro assim. Como já foi discutido no capítulo de fundamentação teórica, a falta de explicitação dos aspectos idealizados e abstraídos talvez possa mascarar a autêntica relação entre o objeto real e o objeto-modelo.

Exemplo 2:

Modelizar elasticidade experimentalmente. Distribuir alguns elásticos entre os alunos. Pedir que eles estiquem os elásticos e sintam a força exercida pelo elástico. Questionar sobre o comportamento destes elásticos: O que acontece quando o esticamos um pouco? As respostas esperadas são do tipo: “ele aumenta de tamanho”, “há uma força puxando de volta” [...] e quando o soltamos, em seguida? Espera-se que os alunos respondam “ele volta ao tamanho inicial”, após responderem o professor deverá enfatizar o fato ocorrido para os alunos [...] O que ocorre se os esticarmos “demais”? Espera-se que os alunos respondam que os elásticos irão se romper, se isso não ocorrer, pedir para que eles estiquem o máximo que puderem os elásticos para que percebam que irá se romper (ONDAS SÍSMICAS, p. 12).

Neste exemplo os autores propuseram uma tentativa de modelizar a elasticidade a partir de algumas observações utilizando um elástico real e principalmente do direcionamento, através de questões e aspectos para os quais o professor chama a atenção. Tenta-se estabelecer uma noção qualitativa do que é um elástico-modelo, ou seja, uma coisa que se deforma sob ação de uma força e depois retorna ao tamanho inicial quando a força cessa, dentro de certo limite.

Os objetos-modelo podem se referir tanto a objetos naturais, como o cérebro ou o átomo, como também a artefatos concretos, como um computador ou um automóvel. O segundo caso também é relevante para a educação em ciências, pois que concerne aos objetos tecnológicos que se relacionam tão de perto com a Física. Veja-se o exemplo que segue.

Exemplo 3:

Construção de um modelo simplificado de alto falante. Conhecido os elementos constituintes do alto falante solicitar que os alunos representem de forma simplificada o mecanismo do AF no seu caderno. Em seguida o professor deverá construir com base nos modelos dos alunos um modelo representativo no quadro. Este modelo deve ser análogo ao modelo em anexo (ANEXO – 08). Construído este modelo convidar os alunos em grupo de três para construir um modelo físico por grupo. Procedimento sugerido para construção deste modelo segue em anexo (ANEXO – 09) (FARADAY INDUZ A FESTA, p. 17).

Nos anexos mencionados, os proponentes deste exemplo indicam como se constitui, através de um modelo simplificado, um alto falante, em termos de seus componentes. Ilustram também uma esquematização do caminho do som, do microfone até ao alto falante. Apresentam assim uma representação esquemática do objeto modelizado, deixando de fora seus componentes não-essenciais.

Um aspecto que se evidencia nas ocorrências desta categoria, talvez o mais destacado, é que a vasta maioria destas ocorrências, salvo os exemplos 1 a 3 e outras raras exceções, se referem a algum objeto-modelo que já recebe o nome de “*modelo do...*” no jargão da Física. Nomeadamente: o modelo do gás ideal e os modelos atômicos. Levando em consideração que esta denominação já é clássica, parece-nos que o seu emprego por parte dos autores de Projetos não se deve à interpretação destes como objetos-modelo, mas sim pela própria tradição do nome. Para exemplificar são apresentadas abaixo duas destas ocorrências.

Exemplo 4:

(...) apresente aos alunos o Modelo Atômico de Rutherford, chamando atenção para seus constituintes básicos: prótons, nêutrons e elétrons. Fale sobre a carga de cada um deles também! O elétron possui carga negativa, o próton carga positiva e o nêutron, como o próprio nome já diz, é um corpúsculo neutro. (RUMO AO INVISÍVEL COM OS MICROSCÓPIOS, p. 8).

Exemplo 5:

(...) o professor deve apresentar o modelo atômico comentando que a corrente elétrica acontece em um lugar específico do material e depende da distribuição dos elétrons neste material. (...) Para isto devemos usar o modelo atômico de Bohr. O átomo é constituído de núcleo e eletrosfera: núcleo: prótons + nêutrons. Eletrosfera: elétrons. Os elétrons giravam ao redor do núcleo em camadas eletrônicas ou níveis de energia. (CÉLULAS SOLARES, p. 8).

Tabela 3.4. Resultado da análise para a categoria Objeto-Modelo.

Título do Projeto	Propostas de modelização	
	TOTAL	Objeto-Modelo
Onda, Onda, Olha a Onda	3	0
Curtindo um Som	4	0
Entre nessa Microonda	3	1
A Física dos Mágicos	4	0
Entre nessa Microonda [2]	3	0
Faraday Induz a Festa	3	1
Por que Usar Óculos?	5	0
Voando Alto com Daiane dos Santos	5	0
Você Sabe Curtir um Som?	1	0
Máquinas Hidráulicas	3	0
O Mundo das Cores	4	1
Ondas Sísmicas	5	1
Venha Curtir um Som	4	1
Laser e a Formação de Imagens no Céu	2	0
Células Solares	1	1
O Buraco na Camada de Ozônio	1	0
Computadores: das Válvulas aos Microchips	4	2
Nascimento e Morte de Estrelas	1	1
O Céu Azul, o Arco-Íris e o Pôr do Sol	1	0
Céu em Chamas: das Auroras Polares aos Raios	1	0
Levitando Trens com Supercondutores	2	1
Medidas de Temperatura: Alto forno à Criogenia	5	1
O Mar e o Surf	3	0
Radiações e Formação de Imagens na Medicina	6	1
Vamos Copiar? Da Fotocópia à Cópia Colorida	3	0
Entrando Numa Fria	2	0
O Campo Magnético da Terra	1	0
O Mar e o Surf [2]	1	0
Rumo ao Invisível com os Microscópios	2	1
TOTAL	83	13
Número médio de ocorrências por projeto	0,45	
Frequência da categoria em relação ao total	15,7%	

3.1.4 Atividades experimentais de outra natureza

Esta categoria reúne propostas de atividades ditas de modelização as quais não poderiam ser caracterizadas em nenhum dos três tipos anteriormente descritos. De um modo geral, são bastante heterogêneas e poderiam ser encontrados exemplos que se identificariam com quase qualquer uma das categorias de atividades experimentais propostas por Pinho Alves (2000) ou mesmo outras. Embora os autores de Projetos nos quais esta categoria foi identificada se proponham a modelizar, estas atividades prestam-se a diversos fins, como demonstrar, ilustrar, criar uma situação de conflito cognitivo ou servir como um elemento lúdico.

A justificativa mais plausível para essa categoria parece ser a necessidade de cumprimento do contrato didático. Pois a obrigação de contemplar modelizações dentro dos Projetos Temáticos é formalizada no plano de ensino da disciplina INSPE B e também comunicada durante o desenvolvimento da disciplina, concomitantemente ao processo de confecção dos Projetos. Talvez por uma incompreensão do conceito de modelização, ao que parece, muitos autores de Projetos Temáticos atribuíram esta denominação a atividades experimentais quaisquer, provavelmente para cumprir a exigência colocada.

Exemplo 1:

Modelização 5 – Bússola próxima a fios atravessados por corrente elétrica. Objetivos: Mostrara a influência do campo magnético produzido pela corrente que atravessa um fio numa bússola (experiência de Oersted) e entender o funcionamento de eletroímã. Nesta modelização o professor fará uma demonstração com a experiência de Oersted para mostrar influência do campo magnético produzido pela corrente que atravessa o fio numa bússola. (RADIAÇÃO E A FORMAÇÃO DE IMAGENS NA MEDICINA, p. 28)

Esta proposta corresponde a uma atividade experimental histórica (PINHO ALVES, 2000), a qual tem como um de seus principais méritos favorecer que “[...] professor faça a aproximação entre os tempos “real” e “lógico” da maneira mais didática possível, reconstituindo o “contexto da descoberta”.” (PINHO ALVES, 2000, p. 271). Cumpre notar que, na proposta deste exemplo 1, não parece ter sido almejada uma tal reconstituição, pois não há indicações para se promover alguma discussão sobre o problema na comunidade científica da época, ou o caráter não-acidental da descoberta, etc.

Esta observação é válida não apenas para este, mas também para os demais exemplos: a identificação destas propostas com as categorias de Pinho Alves (2000) não é explicitada no texto original dos proponentes destas atividades. Talvez alguns dos autores, ao propor determinadas atividades, tenham como intenção promover o mesmo tipo de objetivo didático presente na categoria correspondente àquela atividade. Esta intencionalidade, porém, é algo que não temos condições de precisar nesta investigação. É o caso do exemplo a seguir.

Exemplo 2:

Construir com os alunos uma modelização de frequência e período. [...] a proposta desta aula é trabalhar com um modelo experimental, dividindo a classe em três grupos. Cada grupo deverá coletar dados utilizando uma mola, seguindo um roteiro. Dois alunos seguram a mola em suas extremidades, um deles produz uma perturbação longitudinal nesta mola. Quando a primeira perturbação chega a outra extremidade, o aluno produz uma segunda perturbação. Com a continuação deste processo, teremos uma onda com velocidade de propagação aproximadamente constante com comprimento de onda igual ao comprimento da mola. Um outro aluno, fazendo uso de um cronômetro de volta marca dez tempos que a onda levou para sair de uma extremidade e chega à outra. A média destes tempos será o período da onda. Um outro aluno deixa passar dez segundos contando quantos pulsos da mola passam neste intervalo. Se dividirmos o número de pulsos contados em dez segundos por dez, teremos o número de pulsos que passam em um segundo, que é a frequência da onda. (VENHA CURTIR UM SOM, p. 20 – 21).

Neste exemplo, os autores parecem ter a intenção de auxiliar os alunos a perceber da mesma forma que eles próprios as variáveis físicas do fenômeno focado, neste caso, a frequência e o período. Isto é, o professor que executaria esta atividade estaria induzindo os estudantes a compartilhar de sua maneira de ver a frequência e o período. Pinho Alves (2000) refere-se a este tipo como uma atividade experimental de compartilhamento, a qual permite “... *acentuar as variáveis envolvidas em um fenômeno, eventuais relações de causa e efeito sob a ótica qualitativa. Pode ser interpretada como a localização de variáveis e o batismo das grandezas físicas*”. (PINHO ALVES, 2000, p. 275). Este também parece ser o caso do exemplo 3.

Exemplo 3:

Modelo experimental: “latinhas giratórias”. O giro das latinhas evidenciará as grandezas envolvidas na quantidade de movimento angular de um objeto, bem como a velocidade angular, massa e sua distribuição, ou seja, momento de inércia, que por sua vez depende do eixo de rotação. O professor deverá seguir os procedimentos da experiência das latinhas do seguinte modo: com as duas latinhas acopladas por meio de um elástico [...], os alunos deverão suspender o conjunto por um barbante. Primeiro passo: Os alunos deverão com uma das mãos segurar a latinha superior e girar a outra, torcendo o elástico. Em seguida deve soltar o conjunto observando e anotando o que acontece. (VOANDO ALTO COM DAIANE DOS SANTOS, p. 27).

Apesar de não ter sido feita uma análise quantitativa referente às diferentes categorias de Pinho Alves (2000) dentro desta categoria de Atividade experimental de outra natureza, através da leitura das propostas aqui inseridas foi possível perceber que a maioria delas se volta àquilo que o citado autor se refere como “atividade experimental comprovação” (PINHO ALVES, 2000, p. 282). Não é difícil imaginar o porquê: este tipo de atividade não traz grandes novidades em relação ao ensino tradicional, no qual o caráter da atividade experimental, quando esta existe, já é tipicamente comprobatório.

Por esta razão não nos estenderemos nos comentários, apenas apresentamos em seguida dois exemplos de ocorrências deste tipo de proposta.

Exemplo 4:

Modelização: Um termômetro e um copo de água com temperatura diferente da ambiente será utilizado para demonstrar aos alunos o equilíbrio térmico, a partir daí estudaremos as unidades de temperatura e suas equações matemáticas. Contudo, o tipo de modelo que será utilizado é o teórico. (MEDIDAS DE TEMPERATURA: ALTO FORNO À CRIOGENIA, p. 33)

Exemplo 5:

Modelização experimental: [...] Coloca-se água num copo de vidro bem transparente até a metade do mesmo. Com a maior delicadeza possível acrescenta-se álcool ao copo até quase enchê-lo. Usando um canudo de refresco como pipeta, introduz-se uma gota de óleo comestível no interior da mistura. [...] quando se coloca álcool delicadamente no copo, o álcool de menor densidade fica na parte superior do copo. Somente na região intermediária forma-se uma mistura de álcool e água. A gota de óleo afunda no álcool porque tem menor densidade que ele, mas flutua na água porque sua densidade é maior do que a da água. Assim a gota fica em equilíbrio na região intermediária. (MÁQUINAS HIDRÁULICAS, p. 39 – 40).

Tabela 3.5. Resultado da análise para a categoria Atividade Experimental de outra natureza.

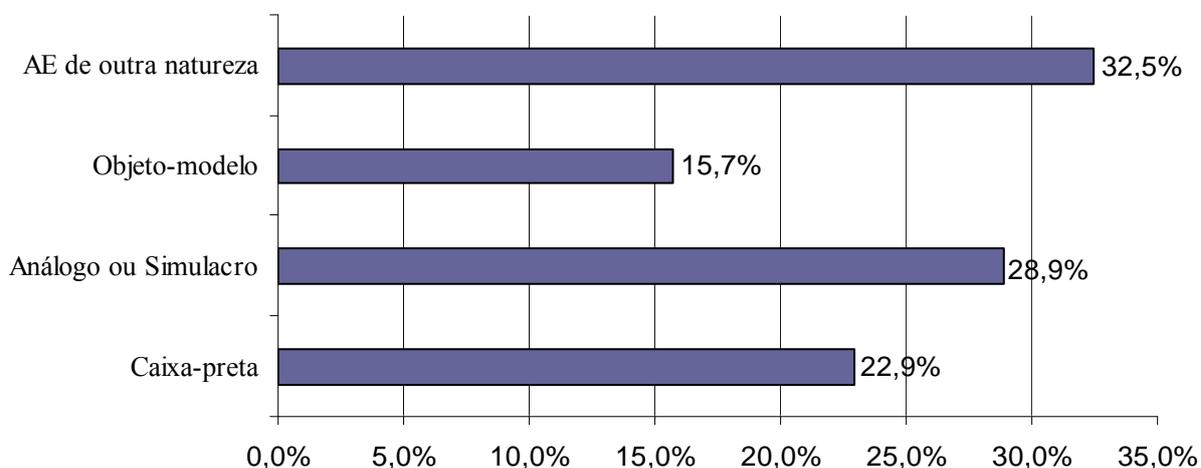
Título do Projeto	Propostas de modelização	
	TOTAL	AE outra natureza
Onda, Onda, Olha a Onda	3	3
Curtindo um Som	4	0
Entre nessa Microonda	3	0
A Física dos Mágicos	4	0
Entre nessa Microonda [2]	3	0
Faraday Induz a Festa	3	0
Por que Usar Óculos?	5	0
Voando Alto com Daiane dos Santos	5	4
Você Sabe Curtir um Som?	1	1
Máquinas Hidráulicas	3	3
O Mundo das Cores	4	1
Ondas Sísmicas	5	2
Venha Curtir um Som	4	1
Laser e a Formação de Imagens no Céu	2	0
Células Solares	1	0
O Buraco na Camada de Ozônio	1	0
Computadores: das Válvulas aos Microchips	4	1
Nascimento e Morte de Estrelas	1	0
O Céu Azul, o Arco-Íris e o Pôr do Sol	1	0
Céu em Chamas: das Auroras Polares aos Raios	1	0
Levitando Trens com Supercondutores	2	1
Medidas de Temperatura: Alto forno à Criogenia	5	3
O Mar e o Surf	3	1
Radiações e Formação de Imagens na Medicina	6	4
Vamos Copiar? Da Fotocópia à Cópia Colorida	3	1
Entrando Numa Fria	2	1
O Campo Magnético da Terra	1	0
O Mar e o Surf [2]	1	0
Rumo ao Invisível com os Microscópios	2	0
TOTAL	83	27
Número médio de ocorrências por projeto	0,93	
Frequência da categoria em relação ao total	32,5%	

3.1.5 Considerações sobre a análise dos Projetos Temáticos

À primeira vista, uma característica que se destaca na noção de modelização expressa pelos autores nos Projetos Temáticos é a ausência de um conceito hegemônico. Basta notar que a diferença entre as frequências relativas das três categorias mais frequentes é menor do que dez pontos percentuais. Mais significativa que isto talvez seja a observação do significado da categoria mais frequente: um agrupamento de propostas bastante heterogêneo. Esse fato não é, sob nosso ponto de vista, algo muito surpreendente, pois, lembrando a discussão feita no Capítulo 1, entendemos que a Modelização é um conceito consideravelmente polissêmico na própria área de pesquisa da educação científica.

Outro aspecto de especial relevância é a forte identificação da Modelização com atividade experimental. O primeiro indicador, e mais óbvio, é a categoria “Atividade experimental de outra natureza”, a qual tem como única característica comum entre suas ocorrências o fato de ser uma atividade experimental, e que sozinha representa 32,5% do total de ocorrências, conforme ilustra o gráfico 3.1. Quer seja apenas para cumprir o Contrato Didático ou não, os autores de Projetos Temáticos que apresentam esta categoria parecem estar entendendo a Modelização como a simples proposição de uma atividade experimental. Talvez parte da origem deste entendimento esteja relacionada com o fato de que todos os exemplares de Modelizações apresentados em INSPE A enfatizam atividades experimentais.

Gráfico 3.1. Categorias de modelização nos Projetos Temáticos.



É possível assim que, em uma interpretação superficial por parte dos autores dos Projetos Temáticos analisados, a Modelização tenha ficado quase como um sinônimo de experimentação. Esta possibilidade é reforçada pela ocorrência, também alta (22,9%), da categoria “Caixa-preta”, a qual parece uma tentativa de imitar o tipo de atividade colocada como exemplar de Modelização em INSPE A, porém deixando de lado alguns de seus aspectos mais importantes, como a idealização e abstração. Conseqüentemente, o significado da variável interveniente é pouco ou quase nada explorado nestas propostas.

Por exemplo, no Projeto *O Mar e o Surf*, há uma proposta de atividade de modelização do tipo caixa-preta para a força de atrito (exemplo 1, seção 3.1.1). São calculados os valores do coeficiente para diferentes superfícies. Obtém-se que a força de atrito depende da força normal. Porém não se faz nenhum comentário que permita interpretar microscopicamente a origem desta dependência. Em outras propostas desta categoria também se observam condutas semelhantes, como no caso das que propõem a modelização experimental da Lei de Snell: obtêm-se valores do índice de refração, mas nada se comenta a respeito de quais propriedades dos materiais se relacionam com esse índice.

Pode-se argumentar que essa característica de “caixa-negrismo” não seja sempre, nem necessariamente, um demérito da proposta, pois talvez estas discussões não se relacionem de forma tão direta com o objetivo mais imediato do projeto que é a explicação de um dado aspecto do fenômeno enfocado. Por outro lado, ao desconsiderar as abstrações e idealizações necessárias na construção de um modelo e dessa forma não explorar o objeto-modelo ao qual cada modelo teórico se refere, a modelização deixa de cumprir seu principal papel, o de evidenciar a relação entre o conhecimento científico e a realidade. Observando-se as orientações descritas pelos proponentes de atividades do tipo caixa-preta, como nos exemplos colocados na seção 3.1.1, pode-se notar que a seqüência de procedimentos – em essência, experimentação mais tratamento lógico-matemático dos dados – acaba ficando reduzida à concepção tradicional da experimentação, validada nos moldes da compreensão empirista do conhecimento. E, nessas condições, faz parecer que o conhecimento é somente a experiência sintetizada.

Relembrando as considerações na descrição desta categoria e também na apresentação do referencial teórico, notamos que a abordagem de caixa-preta pode ser vista como um dos elementos possivelmente presentes na construção de um modelo teórico. No caso da evolução da Física, não há dúvida de que este tipo de abordagem teve lugar em diferentes momentos na construção de diversas teorias, especialmente em estágios iniciais.

Também é preciso reconhecer que o mundo está e estará repleto de caixas-pretas: em uma perspectiva crítica, não esperamos que seja possível transformar a todas, inteiramente, em caixas translúcidas (BUNGE, 1974). Todavia, também podemos emprestar de Bunge algumas considerações que explicam a inadequação deste tipo de abordagem como único procedimento de Modelização: as caixas-pretas têm *baixa fertilidade*, já que não ajudam a entender os aspectos ainda ocultos da realidade (como o significado da variável interveniente); são *menos completas*, porque prevêm e descrevem o comportamento, mas nada dizem a respeito da estrutura; *permanecem algo à parte do resto da ciência*, pois ao se ampararem quando exclusivamente na empiria, não contam com o apoio do corpo de conhecimento teórico já estabelecido (BUNGE, 1974). A relação entre conhecimento e realidade, portanto, fica fragmentada neste tipo de abordagem em sala de aula.

Outro aspecto relevante nas abordagens de caixa-preta é a possibilidade de se admitir que a obtenção da forma matemática encerra a explicação sobre o fenômeno enfocado. Em diversas propostas analisadas nesta categoria, dava-se a entender que a expressão matemática respondia, sozinha, à questão que originou a atividade, sem necessidade de maiores comentários. É possível que outros comentários a respeito sejam feitos em outros momentos do Projeto Temático, que não tenham sido colocados como parte da Modelização. Embora não tenhamos analisado esta possibilidade quantitativamente, pôde-se perceber, durante a leitura dos Projetos, que isto pouco ocorre, e que na maioria dos casos a obtenção da expressão matemática encerra a questão tratada. Seja qual for o caso, parece-nos que os proponentes de atividades que se encaixam nesta categoria não prestaram suficiente atenção ao seguinte fato:

É possível tornar mais precisa a referência objetiva através da matematização; todavia, este processo de refinamento, se mal interpretado, obscurecerá, ao mesmo tempo, a referência. De fato, o alvo da matematização na física é representar coisas e suas propriedades em plano conceitual tratando por conseguinte com estes deputados mais do que com seus eleitorados. Assim, **o que é em geral focalizado no representante matemático de uma variável física, não é o conceito todo, mas apenas a(s) parte(s) numérica(s) desta.** (BUNGE, 1974, p. 161, grifo nosso).

Assim, é preciso notar uma equação matemática, por si só, não fornece a interpretação para o modelo teórico em pauta. Em outras palavras, dada uma expressão matemática que relaciona variáveis dentro de um certo problema, a interpretação física não pode ser deduzida simples e exclusivamente pela lógica e pelas operações matemáticas. Não reconhecer este aspecto pode acarretar equívocos de interpretação destes modelos teóricos. Na ciência Física pode-se apontar um exemplo impressionante deste tipo de situação: a equação

que expressa o momento linear relativístico, $\vec{p} = \gamma m \vec{v}$ ³⁸, na qual o fator γm é interpretado como a “massa relativística”, de maneira que a massa³⁹ de um corpo seria função da sua velocidade. Esta interpretação conduz a uma série de inconsistências do ponto de vista físico, como aquelas apontadas por Lemos (2001). Segundo este autor, esta dependência da massa com a velocidade não ocorre, pois a equação acima deve ser entendida como uma redefinição do momento linear, o qual não é definido da mesma maneira na relatividade e na mecânica clássica. Nesta interpretação existe somente uma massa, que seria a massa de repouso (embora não seja preciso referir-se com este termo, já que não há outra). Desse modo, interpretações diferentes da mesma expressão matemática podem levar a concluir comportamentos diferentes do referente físico.

Em relação à amostra pesquisada, podemos resgatar mais uma vez o exemplo 1 da seção 3.1.1 para ilustrar esta possibilidade de induzir ao erro ao se deixar a interpretação física exclusivamente ao encargo da forma matemática do modelo. Naquele exemplo, ao se obter uma dependência entre a força de atrito e o peso de um objeto, está-se reforçando concepções alternativas que têm origem do senso comum, ao invés de promover rupturas com estas, o que seria algo muito mais representativo do caráter do conhecimento científico. De forma semelhante, no caso do momento linear relativístico, a primeira interpretação “*atenua o caráter revolucionário da teoria especial da relatividade e tende a apresentar a dinâmica relativística como uma correção da dinâmica de Newton, sem quebra essencial da continuidade do paradigma newtoniano*” (LEMOS, 2001, p. 8).

Parte desse “caixa-negrismo” demonstrado nas propostas de modelizações está relacionada com outra característica observada nestas mesmas propostas. Trata-se da acentuada ausência das teorias gerais. Esta característica está presente nas ocorrências de uma forma geral, porém é mais relevante na categoria caixa-preta, já que nesta se obtém como produto um modelo teórico. As teorias gerais, ao que parece, não são vistas como ferramentas poderosas para obter ou ampliar o significado dos modelos teóricos, ou pelo menos, caso o forem, isto não se relaciona com modelização na perspectiva dos licenciandos autores de Projetos Temáticos.

³⁸ Nesta equação,

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

³⁹ Na equação do momento linear relativístico, m seria a “massa de repouso”, isto é, a massa medida em um referencial em que o corpo está em repouso.

No Projeto *A Física dos Mágicos*, por exemplo, os autores expõem uma obtenção teórica da lei da refração a partir do Princípio de Fermat, porém não explicitam a relação desta com nenhuma atividade experimental, apesar de proporem muitas, nem com uma modelização, embora também proponham diversas modelizações. Também apresentam uma dedução teórica para a expressão que relaciona o número de imagens em uma associação de espelhos planos e obtém, daí, a forma matemática desta expressão. Para este modelo, eles também propõem uma atividade experimental. Contudo, a atividade experimental é chamada explicitamente de “modelização”, enquanto a dedução teórica não o é, e também não há nenhum comentário no sentido de relacionar a teoria com o experimento, ou aprofundar o conhecimento obtido com aquela atividade à luz das considerações teóricas. Semelhante conduta parece ser o padrão na maioria dos Projetos analisados

Via de regra, nenhuma das propostas analisadas encaminhava-se na perspectiva do processo teórico da modelização conforme entendido por Saglam (2004). Esta observação, por sua vez, também reforça a idéia de que os conhecimentos sobre fenômenos físicos são obtidos essencialmente a partir da experimentação, sem que ocorra uma influência considerável de outros conhecimentos. As teorias gerais permanecem algo à parte, aparentemente sem relação com aquilo que é objeto de exame empírico. Promover uma vinculação entre estas teorias gerais e os modelos do tipo caixa-preta requereria, como foi discutido no Capítulo 1, a explicitação do objeto-modelo admitido para representar o objeto real enfocado.

Enquanto as modelizações categorizadas como caixa-preta tipicamente não abordam o objeto-modelo que lhes corresponde, aquelas da categoria objeto-modelo carecem de relação com seus respectivos modelos teóricos. Ou seja, na maioria dos casos, as modelizações encontradas nos Projetos Temáticos analisados não contemplam experimentação e matematização de forma conjunta com a construção de um objeto-modelo.

Veja-se o caso do exemplo de modelização da elasticidade no Projeto *Ondas Sísmicas*, apresentada como exemplo 2 da seção 3.1.3. Ocorre a constituição de um objeto-modelo observando-se e discutindo-se algumas propriedades de um objeto real. Uma possibilidade de expressar matematicamente esta idéia de maneira a torná-la possível de inserir na teoria geral que é a Mecânica Clássica, seria experimentar com um elástico, por exemplo, para obter a relação entre a força e a deformação sofrida pelo elástico. Enriquecendo as leis de Newton com esta idéia seria possível obter modelos teóricos que permitiram aprofundar o conhecimento sobre sistemas que apresentam elasticidade. O que se pôde

perceber nos Projetos Temáticos, ao contrário, é a tendência em focar apenas um dos aspectos essenciais do processo de obtenção de modelos, excluindo-se os outros. Daí se depreende, mais uma vez, a fragmentação existente entre teorias gerais, modelos teóricos e objetos-modelo nas propostas de atividades de modelização analisadas.

Outra característica que se destaca nestas propostas é fraca relação entre a modelização compreendida pelos autores de Projetos Temáticos com os processos de abstração e idealização. Mesmo notando que a categoria objeto-modelo é a de mais baixa frequência, 15,7%, ainda é preciso considerar que muitas dessas ocorrências se referem a usos do termo “modelo” que consistem em jargões clássicos da Física, como “modelo do átomo de Bohr”, entre outros. Nesses casos, não podemos inferir que exista alguma consideração dos processos de abstração e idealização e, portanto, temos que admitir que a porcentagem de ocorrências que realmente contemplam tais processos é na verdade menor do que 15,7%.

Ao discutir algumas compreensões sobre modelos científicos no campo filosófico, na seção 1.1.1, seguimos Portides (2007) que divide estas compreensões em duas classes: a visão semântica e a noção de modelos como mediadores. No entanto existe outra acepção do termo modelo no domínio da teoria do conhecimento da qual não tratamos naquele momento, mas que também se faz relevante. Trata-se da compreensão de modelo como sendo basicamente analógico ou metafórico. Um dos principais defensores desta concepção é Max Black, para quem *“talvez toda ciência deva começar com a metáfora e terminar com a álgebra; e talvez sem a metáfora nunca tivesse havido qualquer álgebra”* (BLACK, 1962, p. 242 apud DUTRA, 2009, p. 169). Seguidora de Black, Hesse (1966) apud Dutra (2009) destaca a existência de três tipos de analogias: positiva, que consiste nos aspectos semelhantes entre um sistema e seu análogo; negativa, representando os aspectos nos quais os sistemas são diferentes; e neutra, que corresponde àqueles em que não sabemos sobre a semelhança ou não entre os sistemas (DUTRA, 2009). Já para Bailer-Jones (2002), outra autora que enfatiza o papel das analogias e metáforas na construção de modelos, nem todos os modelos são metafóricos ou repousam sobre relações analógicas, mas alguns o fazem, e sobre estes ela focaliza seu trabalho. Esta autora considera que um modelo é *“uma interpretação de um fenômeno empírico”* (BAILER-JONES, 2002, p. 124) e que o objetivo dos modelos científicos é facilitar o acesso perceptual e intelectual aos fenômenos.

Esta compreensão apareceu em destaque no resultado da análise dos Projetos Temáticos, pois a categoria “Análogo ou Simulacro” apresenta resultado expressivo, 28,9% do total de ocorrências. Certamente não foi pela leitura dos autores citados no parágrafo

precedente que os proponentes de atividades desta categoria inspiraram-se, e também os subsídios teóricos oferecidos em INSPE A sobre a Modelização não dão destaque à relação com analogias e metáforas. Como foi visto na seção 2.2.1, a única menção a esse tipo de relação é o modelo representacional de Kneller, que na verdade é uma maquete, isto é, uma espécie de análogo material. Os exemplares de Pinheiro (1996), desenvolvidos pelos licenciandos como exemplos de atividades de Modelização em INSPE A, não utilizam analogias e metáforas em sua construção. Como, então, explicar o elevado índice de propostas com este direcionamento?

Ao que parece, esta idéia de modelo manifestada pelos proponentes de atividades nesta categoria deva ter pelo menos parte de sua origem no senso-comum, no qual é muito freqüente o uso do termo modelo neste sentido. Fala-se, por exemplo, no modelo de moléculas com esferas, modelo em pequena escala de um avião ou navio, etc. Por outro lado, também podemos levar em conta a possibilidade de que estes licenciandos possam recorrer ao acervo da literatura da pesquisa em educação científica, buscando nos periódicos da área sobre estratégias de ensino para o seu Tema particular ou sobre Modelização de uma forma geral. Nesse caso, boa parte do material que encontrariam traria esta compreensão de modelo baseado em analogias e metáforas.

Esta compreensão aparece, por sinal, de forma abundante na literatura sobre educação científica, na qual muitos autores discutem a modelização e fazem propostas enfatizando as analogias e metáforas (ADÚRIZ-BRAVO; MORALES, 2002; GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001; COLL, 2005; HARRISON; TREAGUST, 2000; GILBERT, 2004). Na seção 1.2.1 comentamos brevemente sobre a essência destas propostas, e também já adiantamos a incompatibilidade desta compreensão com o referencial teórico aqui adotado. Neste sentido, pode-se acrescentar que a analogia

... apresenta demasiado número de faces, todas elas penetradas e tingidas de subjetividade: a similaridade para um homem é a dissimilaridade para outro. A metáfora pode ter importância pragmática: talvez encerre valor heurístico e seja de alguma utilidade para o ensino, mas mostrar-se-á, talvez, terrivelmente enganadora, precisamente por ser muito subjetiva. Dada essa razão, a metáfora não encontra lugar na teoria científica. (BUNGE, 1976, p. 31)

Concordamos com Bunge quando este afirma que o objetivo de uma explicação científica deve ser explicar as coisas com base em características delas próprias, o que não é feito pela explicação metafórica, já que é típico da metáfora apresentar o novo por velho (BUNGE, 1976). Assim, a nosso ver, analogias e metáforas possuem um caráter acessório na

modelização, e provavelmente restrito à parte da modelização que se refere à constituição do objeto-modelo, tendo em vista um possível papel das analogias de sugerir classes de equivalência.

Em relação às ocorrências observadas nesta categoria, também se pôde notar que a vasta maioria das propostas colocadas consistia em analogias simples, e poucas em simulacros, que seriam relações mais fortes do que as analogias. Outro aspecto percebido é que, via de regra, não eram mencionados os aspectos em que o análogo se diferenciava do objeto modelizado, isto é, a analogia negativa de Hesse.

3.2 RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS

Os questionários direcionados a alunos egressos do curso e também aos licenciandos que já passaram pela atividade de construção de Projetos Temáticos foram encaminhados a aproximadamente 60 pessoas, tendo sido respondido e devolvido à pesquisadora por 40 respondentes. O modelo deste questionário pode ser visualizado no Anexo III.

Com a realização deste questionário procurou-se acessar a Modelização entendida pelos autores de Projetos Temáticos em uma perspectiva mais ampla, dentro do contexto no qual este conceito é trabalhado no conjunto de disciplinas de Instrumentação. Esta ocasião também foi aproveitada para se abordar questões que se relacionam de maneiras indiretas com a Modelização e mais diretas com a noção de Projeto Temático. Sendo assim, nem todas as questões propostas neste instrumento serão objeto de uma análise detalhada durante as considerações sobre o resultados. Elas permitem, porém, uma visão mais abrangente da atividade como um todo, além de levantar possíveis questionamentos para futuras investigações sobre tão rico objeto que são os Projetos Temáticos.

Estas questões foram distribuídas em quatro seções. Na primeira, buscou-se acessar alguns aspectos sobre o processo de elaboração do Projeto Temático desenvolvido pelo respondente, procurando averiguar o êxito ou não de algumas das aspirações desta proposta, na perspectiva dos licenciandos. Também se procurou testar algumas hipóteses originadas da prática de implementação dessa proposta. A segunda seção concentrou o foco mais especificamente na metodologia adotada pelos professores da disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física B durante o desenvolvimento dos Projetos Temáticos e o modo como estes foram tratados didaticamente.

Estas duas primeiras seções foram apresentadas na forma de escala de Likert, isto é, dado um conjunto de afirmativas, os respondentes devem indicar, para cada uma, se concordam totalmente, parcialmente, estão indecisos ou se discordam parcialmente ou totalmente. Dessa forma é possível acessar a intensidade e o sentido, positivo ou negativo, da atitude do respondente. Em cada uma das duas primeiras seções foram apresentadas nove afirmativas a serem analisadas pelos respondentes. Além de obter o percentual de cada grau de concordância, também é possível determinar o grau de concordância médio do total de

respondentes. Optamos por expor os resultados em ambas as formas, para dar uma idéia mais completa da distribuição. Para determinar o grau de concordância médio, atribuiu-se os seguintes valores: concordância total, 2; concordância parcial, 1; indecisão, 0; discordância parcial, -1; discordância total, -2. O grau de concordância médio é a média aritmética dos valores obtidos por todos os respondentes em cada afirmativa. Este grau de concordância médio é apresentado em forma de gráficos, enquanto o percentual de respondentes que optou por cada grau de concordância é exibido na forma de uma tabela.

A terceira seção do questionário buscou acessar as dificuldades manifestadas pelos autores durante o desenvolvimento de seus Projetos Temáticos. Foram listadas as oito principais tarefas a serem realizadas nesta elaboração, em ordem aleatória. O tipo de escala utilizado nesta questão é o de ranking forçado, ou seja, o respondente deve atribuir valores de 1 a 8 para cada alternativa (tarefa), em ordem decrescente de dificuldade. Assim, a tarefa considerada pelo respondente como a mais difícil deve ser atribuído o valor 1, e a mais fácil deve ter valor 8. Os resultados são expressos na forma percentual, indicando a porcentagem de respondentes que atribuiu cada grau de dificuldade a cada tarefa, e também a posição no ranking de cada tarefa, determinada a partir da média aritmética do grau de dificuldade atribuído pela totalidade dos respondentes.

A quarta e última parte do questionário é de especial interesse, pois tem como foco o conceito de Modelo. Foram listadas algumas compreensões possíveis para o termo, extraídas basicamente do referencial teórico e da revisão de literatura. Novamente foi utilizada a escala do tipo ranking forçado, na qual solicitou-se ordenar de forma decrescente segundo o grau de adequação de cada uma das seis opções colocadas. Ou seja, a opção tida pelo respondente como a mais adequada deve receber o valor 1, e a opção menos adequada corresponde valor 6. De forma semelhante à terceira seção, nesta também optou-se por apresentar os resultados na forma percentual e na forma do ranking, também determinado pela média do grau de adequação obtido para cada uma das opções.

É importante ressaltar aqui dois aspectos desta pesquisa. Em primeiro lugar, o perfil dos respondentes é bastante heterogêneo. O que têm em comum é a formação em licenciatura em Física na mesma instituição, com participação na disciplina INSPE B e conseqüente participação na elaboração de Projetos Temáticos. No entanto, alguns podem estar em uma fase inicial de sua formação, com ou sem experiência docente; outros, que realizaram a atividade em ocorrências mais antigas da disciplina, eventualmente encontram-se desenvolvendo um prosseguimento de sua formação, em nível de pós-graduação, tanto em

Física como também em Educação Científica e Tecnológica. Estas diferenciações podem interferir, e muito provavelmente interferem de alguma maneira, na conceitualização de algumas das noções aqui abordadas. E, em princípio, esta interferência pode ser tanto para aproximação como para o afastamento em relação à compreensão que defendemos. Não temos condições de avaliar rigorosamente estas possíveis interferências, o que requereria o uso de algum instrumento além do questionário. Trata-se de uma abstração que realizamos frente à impossibilidade de levar em consideração todas as variáveis do problema.

Outra questão importante se refere a uma limitação do tratamento estatístico dos dados devido ao baixo número de amostras (quarenta). Assim, ao se falar, por exemplo, em 10% ou 5% do total, deve-se notar que esta porcentagem representa 4 e 2 pessoas, respectivamente. Esta limitação, porém, é determinada também pela própria natureza da pesquisa, tendo em vista que a disciplina INSPE B ocorre somente uma vez por ano e que, embora a quantidade de alunos por turma nos últimos anos tenha estado em torno de 12 a 15 (às vezes com duas turmas por ano?), nas edições mais antigas essa quantidade era menor. O percentual de devolução dos questionários enviados, cerca de 67%, ficou próximo ao estimado por Silva e Schappo (2001), que relatam que este instrumento apresenta, em geral, uma taxa de devolução não superior a 70%.

3.2.1 A construção do Projeto Temático

A primeira afirmação da seção inicial do questionário teve como objetivo testar o entendimento dos respondentes sobre um aspecto da noção de Projeto Temático que consideramos de importância central, e que se refere justamente ao seu caráter temático.

Na prática com a abordagem temática junto a professores em formação inicial, tivemos a oportunidade de perceber que, muito frequentemente, a proposição de um Tema parece ser entendida pelos licenciandos somente como uma forma de contextualizar, ilustrar, exemplificar, etc., os conteúdos de Física que já foram pré-determinados nos currículos tradicionais ou em manuais de ensino, tais como os livros didáticos. Nesses casos os Temas não são percebidos como uma fonte de questões sobre um objeto de conhecimento e, portanto, os sujeitos que assim entendem não conseguem identificar critérios de seleção de conteúdos de acordo com a necessidade destes conteúdos para a compreensão das questões relativas ao Tema. Como forma de examinar este aspecto na noção de Projeto Temático manifestado pelos autores de Projetos, colocou-se a seguinte afirmação.

1. A atividade de construção do Projeto Temático pode ser definida como um trabalho de organizar, didaticamente, conceitos e definições de Física previamente determinados, utilizando um tema para contextualizar esses conceitos.

Observando a tabela 3.6, notamos que pouco mais da metade dos respondentes (52,5%) concorda totalmente com esta definição, confirmando a hipótese do parágrafo precedente. Os respondentes que concordam, seja qual for a intensidade, somam 90% do total. Como também ocorreram algumas respostas em contrário, o grau médio de concordância para esta afirmativa, como pode ser visto no Gráfico 2 ao final desta seção, ficou em 1,3. Interpretamos este resultado como um indicativo de que a idéia que constitui o núcleo central de uma abordagem por Temas não está, ainda, suficientemente clara para estes licenciandos. Em particular, notamos que dentre os quatro respondentes que discordam desta afirmativa (10%), dois encontravam-se realizando estudos de pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica por ocasião da participação nesta pesquisa. É possível, embora não tenhamos condições de afirmá-lo, que este prosseguimento em suas formações tenha contribuído para esse direcionamento nas respostas ou, inversamente, que um envolvimento mais aprofundado nesta atividade tenha interferido até mesmo na escolha de estudos de pós-graduação.

Outro aspecto percebido através da prática durante o acompanhamento em observação participante e também da participação da pesquisadora enquanto ex-aluna da disciplina INSPE B, além de conversas informais com os docentes desta e de resultados apontados na pesquisa de Rezende Junior (2006), foi examinado através da segunda afirmativa.

2. Participar da elaboração do Projeto Temático fez com que eu percebesse novos significados ou inter-relações entre conceitos de Física.

Esta é uma potencialidade da proposta de Projetos Temáticos a qual Rezende Junior (2006) analisa sob a perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais de G. Vergnaud e que é fortemente confirmada na consulta aos sujeitos da pesquisa. O grau de concordância médio para esta afirmativa atinge o mais alto valor dentre todas as afirmativas colocadas, de 1,7. A taxa de respondentes que concorda totalmente com esta proposição atinge o expressivo valor de 82,5%, 33 do total de 40 respondentes. Em nossa perspectiva, esta percepção por parte dos sujeitos está relacionada com um dos sentidos que o termo Modelização assume no contexto dos Projetos Temáticos na disciplina analisada e que se refere à seleção dos modelos e objetos-modelo que os autores de Projetos precisam realizar quando desenvolvem ou buscam desenvolver uma Transposição Didática. Discutiremos mais sobre este significado da Modelização na seção 3.3.4.

Tabela 3.6. Resultado percentual da primeira parte – Sobre a elaboração do seu Projeto Temático.

Afirmativa	Concorda		Indeciso	Discorda	
	totalmente	parcialmente		parcialmente	totalmente
1	52,5%	37,5%	0,00%	5,00%	5,00%
2	82,5%	7,50%	5,00%	5,00%	0,00%
3	55,0%	30,0%	7,50%	2,50%	5,00%
4	57,5%	30,0%	7,50%	2,50%	2,50%
5	55,0%	22,5%	12,5%	5,00%	5,00%
6	2,50%	10,0%	10,0%	32,5%	45,0%
7	50,0%	20,0%	17,5%	12,5%	0,00%
8	2,50%	15,0%	2,50%	30,0%	50,0%
9	27,5%	55,0%	7,50%	7,50%	2,50%

Além disso, esta afirmativa também se relaciona com a proposição subsequente, a qual tem uma relação muito próxima com a discussão sobre Modelização que viemos fazendo.

3. Ter participado desta atividade teve algum impacto na maneira como entendo o conhecimento físico, seu caráter, suas finalidades e o significado de validação das teorias físicas.

Somados, os respondentes que manifestaram concordância com esta proposição representam 85% ou 34 dos consultados, sendo que 55% (22 pessoas) afirmaram concordar totalmente. Podemos inferir deste resultado uma influência considerável desta atividade no entendimento da relação entre teoria e empiria que é construído pelos professores em formação. Um aspecto interessante a ser investigado, que não o foi em função das limitações de tempo e de extensão desta pesquisa, seria entender os modos específicos pelos quais a atividade exerce esta influência sobre os licenciandos, isto é, características peculiares desta atividade que produzem este efeito e como o fazem. Temos a convicção de que a Modelização possui um papel central nesta relação, pois introduz um novo olhar para a experimentação.

Apesar do alto índice de concordância com a afirmativa 3, o resultado que se deflagrou na análise dos Projetos vai de encontro com esta proposição, pois a análise das propostas de Modelização levantou indicativos de compreensões predominantemente empiristas, presentes em abordagens tradicionais da experimentação. Em outras palavras, as manifestações encontradas através da consulta direta aos sujeitos parecem conflitantes com os produtos por eles apresentados. Quando se trata da introdução de perspectivas construtivistas na formação inicial de professores, contudo, não é novidade alguma este tipo de dicotomia entre o discurso e as práticas. Entre outros motivos nos quais não nos deteremos aqui, a falta de exemplares didáticos durante o processo formativo do professor, principalmente no que se refere à Modelização, parece um dos maiores obstáculos para a incorporação desta nova perspectiva em sua prática docente.

A quarta e a quinta proposições se referem à Transposição Didática:

4. Participar da elaboração do Projeto Temático fez com que eu adquirisse maior discernimento para realizar escolhas sobre “o quê ensinar” e “para quê ensinar”.
5. Considero o Projeto Temático que ajudei a construir como produto de uma nova Transposição Didática.

O grau de concordância médio com estas proposições também é superior ao valor atribuído como concordância parcial: 1,4 e 1,2, respectivamente. No caso da proposição 4, a concordância foi mais significativa, chegando a 87,5% de respondentes que atribuem algum ganho de discernimento com relação aos critérios de conteúdos e objetivos de ensino à participação na elaboração do Projeto Temático. Esta porcentagem que representa 35 dos 40 sujeitos consultados. Um número pouco menor, 77,5%, consideram, total ou parcialmente, ter de fato realizado uma Transposição Didática durante a construção do Projeto Temático. Ao que parece, há uma grande consideração do potencial da atividade no desenvolvimento de critérios e objetivos claros de ensino, ao mesmo tempo em que há também um reconhecimento de uma concretização ainda parcial desta potencialidade.

A sexta afirmativa constituiu uma espécie de “teste” para o resultado obtido com a afirmativa 2.

6. Essa atividade não produziu modificações consideráveis na minha compreensão de Física.

Note-se que o resultado negativo, -1,1, confirma o resultado positivo daquela afirmativa. 77,5%, ou 31 respondentes, discordam em algum grau desta proposição.

A contribuição da atividade para a prática docente dos consultados é confirmada por 70%, que concordam com a proposição 7:

7. Utilizo, na minha atividade de professor, alguma forma de pensar que desenvolvi durante a confecção do Projeto Temático.

Destes, 50%, ou 20 respondentes, apresentam concordância total. O grau de concordância médio com esta expressão tem o valor 1,1.

Um resultado também bastante interessante pode ser notado no item 8:

8. Os meus conhecimentos de Física adquiridos nas disciplinas cursadas em semestres anteriores foram suficientes para a construção do meu Projeto Temático.

Há uma clara discordância dos sujeitos consultados com esta afirmativa pois, somados, os consultados que discordam desta atingem a taxa de 80%, corroborando a insuficiência dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas específicas para elaborar uma

compreensão física do Tema tratado em seus respectivos Projetos. O grau médio de concordância ficou em -1,1.

Embora pudesse ser, em condições ideais, tomado como pressuposto que os conhecimentos de Física fossem suficientes, tendo em vista que o licenciando ao chegar na disciplina INSPE B já realizou as disciplinas de Física Básica e uma disciplina sobre Estrutura da Matéria, esta insuficiência pode ser entendida por pelo menos dois motivos. O primeiro e mais simples é que, de fato, vários dos conhecimentos físicos envolvidos em conteúdos de Projetos são trabalhados nas disciplinas específicas de Física de forma excessivamente superficial ou até deixam de ser contemplados, especialmente os de Física Moderna. É o caso dos semicondutores, trabalhados no projeto *Células Solares*, da ressonância nuclear magnética, do projeto *Radiações e Formação de Imagens na Medicina*, ou das reações nucleares necessárias para entender o *Nascimento e Morte das Estrelas*, entre tantos outros que poderiam ser citados. Mesmo no caso de projetos envolvendo Física Clássica, a conceituação exigida para a compreensão do Tema é, em geral, além do aprofundamento tipicamente tratado nas disciplinas específicas, as quais, evidentemente, não tiveram um compromisso com aquele Tema em particular.

Nesse ponto reside o segundo motivo. Nas disciplinas específicas de Física para a graduação, em suas tradicionais ementas, são contempladas muitas ou quase todas as teorias gerais necessárias para a compreensão da Física contida nos Temas. Muitos dos modelos teóricos desta Ciência também são objetos de ensino durante este processo formativo. Lembremo-nos mais uma vez que as teorias gerais não contêm os modelos teóricos. Enquanto aqueles modelos e teorias veiculados nas disciplinas de Física buscam a generalidade, isto é, serem potencialmente aplicáveis ao maior número possível de objetos, o modelo elaborado no Projeto Temático é específico, no sentido de que é voltado à explicação de um objeto ou fenômeno particular. Assim, o fato de ter estudado sobre oscilações e ondas não implica ter já construído um modelo para as ondas sísmicas, assim como o estudo dos tradicionais conteúdos de eletromagnetismo e óptica não irá necessariamente permitir a interpretação imediata das cores do céu ou o funcionamento do forno de microondas. Em situações realísticas como estas, claramente é necessário enriquecer aquelas teorias supostamente apreendidas com conhecimentos relativos ao objeto específico que se quer conhecer.

Não interpretamos a insuficiência apontada na proposição 8 como um demérito das disciplinas específicas de Física tradicionais (embora, sem dúvida alguma, a concepção de ensino tipicamente presente nestas seja alvo de críticas bastante fundamentadas).

Evidentemente reconhecemos que não é possível ensinar, em um intervalo de quatro anos ou quantos fossem, todos os modelos físicos importantes para compreender as situações reais à nossa volta. Sequer consideramos que isto seja desejável. Pelo contrário, em nossa perspectiva, existe um potencial de aprendizagem muito maior ao se colocar o próprio sujeito frente à tarefa de mobilizar seus conhecimentos e habilidades para desenvolver, ele próprio, estes modelos e explicações para situações físicas realísticas como aquelas presentes nos Temas.

Em resumo, o aspecto contido na proposição 8 reflete uma característica notada não somente na observação participante, mas também acentuadamente percebida na participação da pesquisadora nesta atividade, por ocasião de sua formação inicial. Daí nasceu a hipótese contida naquela proposição, que também se relaciona com a investigação desenvolvida por Rezende Junior (2006), sobre a qual se comentou na seção introdutória desta dissertação.

O último item desta seção constituiu uma tentativa de descobrir sobre a autenticidade da Modelização proposta nos Projetos, do ponto de vista de seus autores.

9. Ao elaborar meu Projeto Temático, desenvolvi uma Modelização do(s) fenômeno(s) físico(s) envolvido(s) no Tema.

O grau de concordância médio para esta proposição foi igual a 1, indicando uma concordância parcial. Dentre os consultados, 82,5% consideram ter elaborado uma Modelização, mas 50% concordam apenas parcialmente. Este resultado indica que, para a média dos sujeitos da amostra pesquisada, as propostas que elaboraram em seus Projetos atende às especificações de uma atividade de Modelização, ou pelo menos não se afasta consideravelmente desta. Comparando este resultado com as observações sobre a análise dos Projetos, é possível inferir que esteja ocorrendo uma compreensão algo equivocada, ou pelo menos incompleta, sobre a Modelização por parte dos licenciandos na amostra analisada, pelo menos se consideramos a concepção de Modelização presente nos próprios subsídios teóricos oferecidos durante a disciplina INSPE A.

Gráfico 3.2. Grau de concordância médio da primeira parte – Sobre a elaboração do seu Projeto Temático.

(1) A atividade de construção do Projeto Temático pode ser definida como um trabalho de organizar, didaticamente, conceitos e definições de Física previamente determinados, utilizando um tema para contextualizar esses conceitos.

(2) Participar da elaboração do Projeto Temático fez com que eu percebesse novos significados ou inter-relações entre conceitos de Física.

(3) Ter participado desta atividade teve algum impacto na maneira como entendo o conhecimento físico, seu caráter, suas finalidades e o significado de validação das teorias físicas.

(4) Participar da elaboração do Projeto Temático fez com que eu adquirisse maior discernimento para realizar escolhas sobre “o quê ensinar” e “para quê ensinar”.

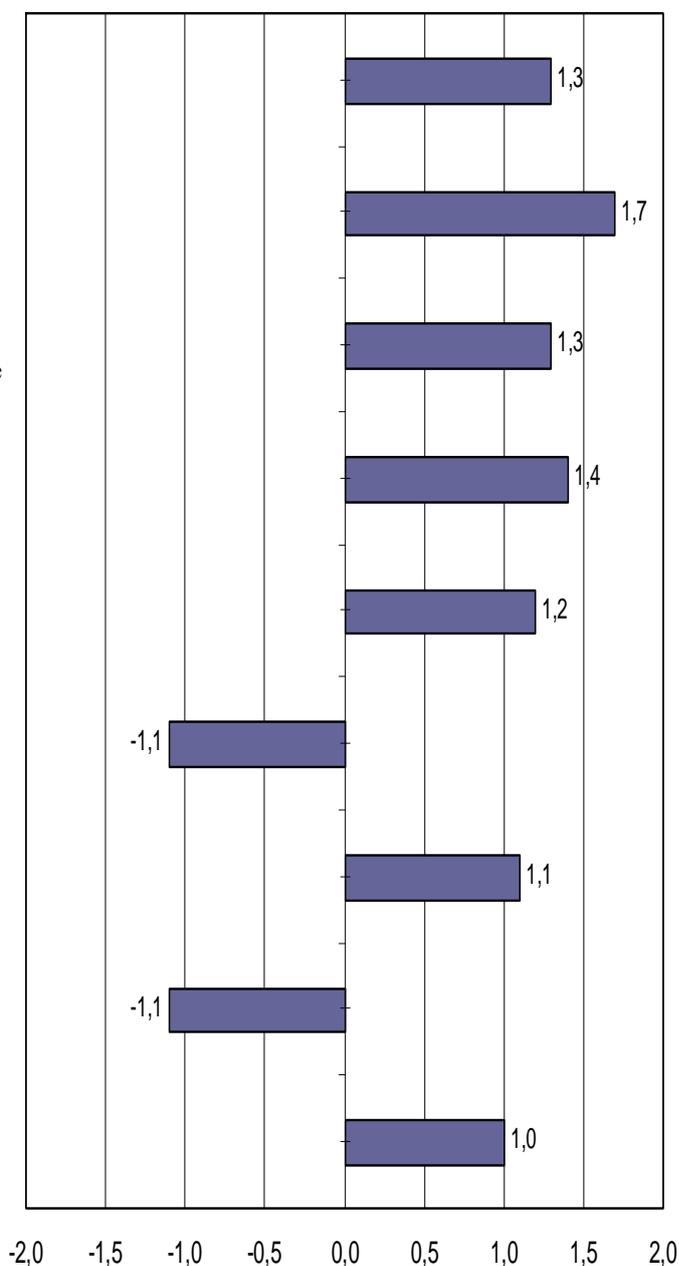
(5) Considero o Projeto Temático que ajudei a construir como produto de uma nova Transposição Didática.

(6) Essa atividade não produziu modificações consideráveis na minha compreensão de Física.

(7) Utilizo, na minha atividade de professor, alguma forma de pensar que desenvolvi durante a confecção do Projeto Temático.

(8) Os meus conhecimentos de Física adquiridos nas disciplinas cursadas em semestres anteriores foram suficientes para a construção do meu Projeto Temático.

(9) Ao elaborar meu Projeto Temático, desenvolvi uma Modelização do(s) fenômeno(s) físico(s) envolvido(s) no Tema.



3.2.2 A metodologia da atividade de elaboração de Projetos Temáticos

A segunda parte do questionário encaminhado aos autores de Projetos teve como foco a metodologia de ensino implementada pelos docentes responsáveis pela disciplina INSPE B, em particular durante o trabalho de confecção dos Projetos Temáticos, que corresponde à maior parte do tempo de duração da disciplina. O modo como se dá este desenvolvimento metodológico foi descrito no capítulo 2 desta dissertação. Nesta análise, não detalharemos todas as questões colocadas, que são mais abrangentes do que o foco da pesquisa, mas apontaremos alguns dos indicativos levantados sobre a opinião dos consultados acerca da atividade e nos deteremos na análise mais específica somente nas questões que se relacionam de forma próxima com o trabalho sobre a Modelização.

Para 75% dos consultados, o grau de orientação e acompanhamento por parte dos docentes, durante o desenvolvimento dos Projetos, foi adequado (afirmativa 1). Com relação à metodologia de apresentação de Seminários para cada etapa do processo, questionada através da afirmativa 2, não pôde ser constatado um posicionamento claro, seja favorável ou contrário, pois as respostas ficaram distribuídas de maneira muito semelhante entre as opções.

Tabela 3.7. Resultado percentual da segunda parte – Sobre a metodologia da atividade.

Afirmativa	Concorda		Indeciso	Discorda	
	totalmente	parcialmente		parcialmente	totalmente
1	32,5%	42,5%	10,0%	15,0%	0,00%
2	10,0%	30,0%	10,0%	37,5%	12,5%
3	17,5%	50,0%	5,00%	22,5%	5,00%
4	45,0%	45,0%	2,50%	7,50%	0,00%
5	15,0%	50,0%	10,0%	17,5%	7,50%
6	25,0%	40,0%	17,5%	10,0%	7,50%
7	22,5%	22,5%	12,5%	25,0%	17,5%
8	37,5%	37,5%	10,0%	12,5%	2,50%
9	5,00%	15,0%	10,0%	50,0%	20,0%

Frente à possibilidade de aplicar o Projeto Temático que elaboraram durante a disciplina INSPE B, por ocasião de sua participação naquela disciplina, 17,5% concordam totalmente que fariam muitas modificações, enquanto 50% concordam parcialmente. Parecem indicar com isto algum reconhecimento de inadequações ou insuficiências naquela primeira versão.

Mas o aspecto que mais se destaca nesta seção do questionário é a valorização dos momentos de arguição com professores e colegas que ocorriam logo após a apresentação de cada seminário. Estes momentos constituem-se como um espaço para o exame crítico do conteúdo que foi apresentado pelo grupo e, pelo o que foi observado durante a fase exploratória desta pesquisa, promove-se um questionamento incisivo e aprofundado sobre as escolhas realizadas pelo grupo apresentador do Seminário. Os respondentes que indicam que houve um grande impacto destes momentos no processo, somados, chegam a 90% do total de consultados, sendo que 45% concordam totalmente com este indício. O grau médio de concordância com esta observação atinge o maior valor desta seção do questionário, de 1,3.

A afirmativa 5 consiste na fala de uma das alunas da disciplina INSPE durante conversa com a pesquisadora, na fase exploratória da pesquisa, e corresponde a uma idéia expressa, de diferentes maneiras, por outros sujeitos durante esta fase.

5. Os critérios para escolher a profundidade e extensão com que trataria o Tema só ficaram claros na hora de organizar as Modelizações.

Esta possível relação entre a Modelização e a clareza na seleção dos conteúdos, em nossa suspeita, está vinculada com uma característica dos Projetos Temáticos que foi testada na primeira seção do questionário: o potencial desta atividade em favorecer a percepção de novos significados ou inter-relações entre conceitos físicos. Pois a apreensão conceitual do objeto físico tratado no Tema envolve, explícita ou implicitamente, a escolha de algum objeto-modelo para representar o objeto real. Para efetuar esta escolha, é preciso se utilizar de algum critério: em um primeiro momento, a tendência da maioria dos licenciandos é manter a inércia, isto é, simplesmente extrair as conceituações já prontas encontradas nos livros didáticos, mantendo sua tradicional abordagem. Confrontados com o questionamento no momento de arguição com os professores, alguns passam a perceber a insuficiência destas conceituações para a apreensão do Tema. Estes parecem vislumbrar, assim, a necessidade de uma abordagem distinta daquela da inércia histórica, o que pode abrir um caminho para

aquela ressignificação dos conceitos físicos. Somados, 75% dos consultados concordam com a afirmativa 5, sendo 50% o fazem parcialmente.

Com relação às demais questões desta seção, consideramos importante destacar duas delas, as proposições 8 e 9. As afirmativas 6 e 7 também podem ser vistas no gráfico 3, mas não julgamos que mereçam maiores detalhamentos na presente discussão.

O item 8 procurou testar a opinião dos autores de Projetos sobre seu próprio sucesso ou insucesso a respeito dos objetivos da atividade de construção dos Projetos Temáticos. O resultado revelou que, em média, os consultados acreditam ter tido êxito com relação a estes objetivos: 37,5% concorda totalmente com esta afirmativa, e o mesmo índice foi obtido para a concordância parcial. Os consultados avaliam, portanto, favoravelmente seus desempenhos nesta atividade.

Por fim, a última afirmativa desta seção buscou acessar a opinião dos consultados sobre a seguinte questão.

9. Os subsídios teóricos ministrados anteriormente (na disciplina INSPE A) sobre a Modelização foram adequados e suficientes para fornecer o embasamento necessário à construção de novas Modelizações no Projeto Temático.

Estes subsídios foram apresentados na seção 2.2.1 desta dissertação. Notou-se que 70% dos respondentes manifesta discordância desta afirmativa 9, sendo 50% dos casos uma discordância parcial. Isto é, para estes respondentes, os subsídios teóricos sobre a Modelização que foram trabalhados na disciplina precedente não foram suficientes para auxiliá-los a construir as Modelizações em seus Projetos. Estes parecem ter sentido, talvez, a necessidade de uma definição mais clara sobre o que é modelizar no ensino da Física, e quais critérios definem uma atividade de Modelização.

Este resultado confirma a hipótese colocada na análise dos Projetos Temáticos, na qual consideramos que um dos fatores que justificariam o alto índice de propostas de modelização nos Projetos Temáticos que ficaram distantes de uma autêntica modelização seria uma possível dificuldade de compreensão deste conceito. Assim, ao serem confrontados com a tarefa de produzir novas Modelizações para os conhecimentos trabalhados em seus Projetos, é bastante previsível que os licenciandos recorram aos exemplares de Pinheiro (1996), também fornecidos como subsídios teóricos. Aquela proposta, conforme já foi discutido em capítulos anteriores, consiste em uma modelização de variáveis, e prioriza a

construção das relações entre as grandezas envolvidas em um problema. Igualmente previsível é que os licenciandos tenham encontrado dificuldades em desenvolver propostas com este mesmo direcionamento para modelizar fisicamente um objeto ou evento, justamente por causa da interpretação da variável interveniente, como também já discutimos. Esta dificuldade advém do fato de que a Física tem um referente factual, concreto, diferente do que ocorre com a Matemática. Além disso, a integração daquele tipo de procedimento com uma teoria geral correspondente também não é algo que tenha sido exemplificado, o que explica, pelo menos em parte, a ausência das teorias nas atividades de Modelização analisadas. O resultado pode ser percebido nas “concepções alternativas” sobre esse conceito que constituem as categorias de análise das propostas de Modelização: alguns autores de Projetos procuraram imitar os exemplares de Pinheiro (1996), deixando de lado alguns aspectos sobre modelos destacados naquela proposta, como a idealização (categoria caixa-preta, 22,9% das propostas analisadas); outros mantiveram uma concepção que pode ser originada a partir do senso-comum ou do entendimento de outros pesquisadores da área, o qual não foi apresentado nestes subsídios teóricos (analogia ou metáfora, 28,9%); e por fim, o grupo mais representativo, daqueles que parecem ter passado longe de compreender o que é a Modelização (Atividades experimentais de outra natureza, 32,5%).

De nossa parte, não temos nenhuma dúvida da importância da discussão sobre a natureza dos modelos que é apresentada naqueles subsídios e que foi descrita na seção 3.2.1 desta dissertação. O dado obtido com relação à proposição 9 indica, na verdade, um obstáculo que é característico da própria área de pesquisa sobre a modelização, para além da atividade desenvolvida na disciplina INSPE B, que é a polissemia do termo, a qual também já discutimos em capítulos anteriores. É neste sentido que destacamos que, em nossa interpretação, as lacunas e contradições manifestadas através do questionário e da análise de conteúdo não expressam uma característica dos subsídios em si, mas sim do próprio *status* epistemológico atual do conceito de Modelo.

Gráfico 3.3. Grau de concordância médio da segunda parte – Sobre a metodologia da atividade.

(1) O grau de orientação e acompanhamento por parte dos professores da disciplina foi adequado.

(2) Os seminários apresentados pelos grupos de alunos foram pouco reveladores do progresso no desenvolvimento do Projeto Temático.

(3) Caso fosse aplicar, hoje, o projeto então construído, faria muitas modificações.

(4) Os momentos de arguição com os professores e colegas, que se seguiam às apresentações dos seminários, tiveram um grande impacto no processo de construção do Projeto Temático.

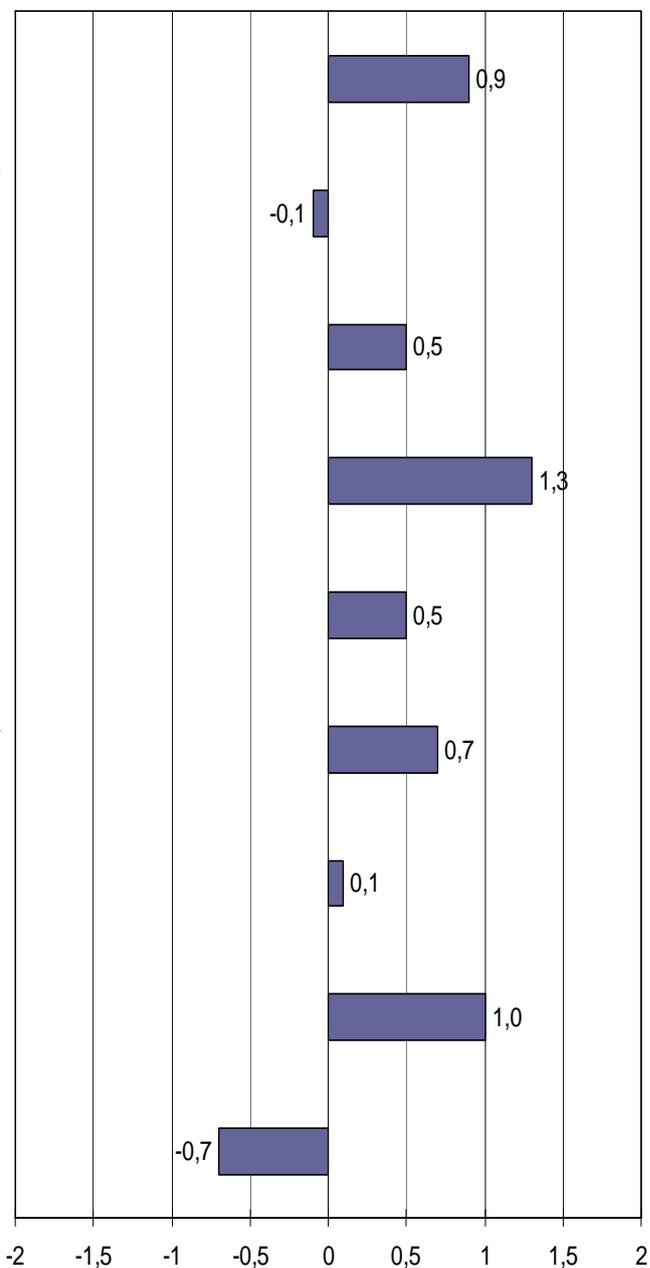
(5) Os critérios para escolher a profundidade e extensão com que trataria o Tema só ficaram claros na hora de organizar as Modelizações.

(6) A apresentação de seminários foi uma metodologia eficaz para que os professores da disciplina compreendessem o que estava sendo produzido, em cada etapa, no Projeto Temático.

(7) O intervalo de tempo de um semestre letivo era demasiado curto para a confecção do Projeto Temático.

(8) Considero ter alcançado os objetivos propostos para a atividade de confecção de um Projeto Temático na disciplina INSPE B.

(9) Os subsídios teóricos ministrados anteriormente (na disciplina INSPE A) sobre a Modelização foram adequados e suficientes para fornecer o embasamento necessário à construção de novas Modelizações no Projeto Temático.



3.2.3 Dificuldades na elaboração do Projeto Temático

Entre as diversas tarefas que os licenciandos na disciplina INSPE B precisam desenvolver durante a elaboração do Projeto Temático, algumas poderão apresentar maiores dificuldades. Algumas delas dizem respeito à habilidades e competências estabelecidas nas Diretrizes Curriculares para os cursos de Física e constantes no Parecer CNE/CES nº 1.304/2001. Para o caso da licenciatura, o rol de competências e habilidades previstas nestas diretrizes agregam:

1. o planejamento e o desenvolvimento de diferentes experiências didáticas em Física, reconhecendo os elementos relevantes às estratégias adequadas;
2. a elaboração ou adaptação de materiais didáticos de diferentes naturezas, identificando seus objetivos formativos, de aprendizagem e educacionais (BRASIL, 2001).

Notamos que a atividade de construção dos Projetos Temáticos constitui-se como uma forma de abordar este planejamento, desenvolvimento, elaboração, etc., que são previstos por esta legislação. Para o questionário, foram selecionadas oito principais tarefas relacionadas a esta atividade e listadas de forma aleatória, de maneira que os respondentes deveriam atribuir, a cada uma, seu respectivo grau de dificuldade, em ordem decrescente. Ou seja, deveriam atribuir 1 para a tarefa na qual encontraram maior dificuldade de realização e 8 para a de menor dificuldade. Na tabela 3.8, expõe-se o percentual de respondentes que atribuiu cada grau de dificuldade à cada tarefa

Assim, “*encontrar fontes de pesquisa*”, primeira da lista, foi identificada como a mais fácil, em média, pelos respondentes. Apenas um destes colocou esta atividade em primeiro lugar de dificuldade: trata-se de um licenciando que desenvolveu um projeto sobre reatores nucleares. De um modo geral, a localização de fontes de informação relevantes não é vista como problemática na perspectiva dos consultados. Levando em consideração o caráter diferenciado desta atividade, um problema de interesse a ser investigado seria determinar em que proporção os licenciandos recorrem, de fato, ao saber sábio (CHEVALLARD, 1991) quando realizam esta tarefa, ou baseiam-se nos saberes já transpostos contidos nos materiais didáticos voltados ao ensino superior.

Tabela 3.8. Resultado percentual da terceira parte – Sobre dificuldades na elaboração do Projeto Temático.

Tarefas	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
Encontrar fontes de pesquisa	2,50%	7,50%	15,0%	12,5%	10,0%	7,50%	20,0%	25,0%
Selecionar conteúdos	7,50%	22,5%	17,5%	27,5%	2,50%	5,00%	12,5%	5,00%
Compreender os conteúdos	15,0%	12,5%	2,50%	7,50%	17,5%	22,5%	15,0%	7,50%
Definir profundidade e extensão da abordagem	12,5%	12,5%	37,5%	12,5%	10,0%	10,0%	2,50%	2,50%
Desenvolver novas modelizações	35,0%	22,5%	17,5%	7,50%	15,0%	0,00%	2,50%	0,00%
Elaborar o planejamento das aulas	5,00%	5,00%	10,0%	20,0%	15,0%	20,0%	17,5%	7,50%
Preparar atividades experimentais	7,50%	10,0%	12,5%	17,5%	7,50%	22,5%	5,00%	17,5%
Transpor os conceitos para o Ensino Médio	12,5%	12,5%	27,5%	10,0%	7,50%	7,50%	12,5%	10,0%

Por outro lado, os consultados manifestaram uma dificuldade considerável para “selecionar conteúdos”: 47,5% dos consultados classificaram esta operação entre as três tarefas mais difíceis, de modo que no *ranking* geral (tabela B) esta ficou na terceira posição, com um grau de dificuldade médio igual a 3,85. Este resultado parece indicar um avanço, pois, se os respondentes identificam a dificuldade enfrentada nesta tarefa, podemos supor que reconhecem a necessidade de se realizar uma nova seleção de conteúdos, não apenas uma reprodução da seqüência tradicional de conteúdos expressa nos currículos e livros didáticos para o Ensino Médio. Embora não reconheçam, pelo menos de forma consciente, que a abordagem temática é algo mais que uma contextualização para conteúdos previamente definidos, como foi expresso na primeira seção do questionário, ao atribuir uma dificuldade considerável a esta tarefa, os licenciandos parecem demonstrar uma compreensão de que não podem se restringir somente àqueles conteúdos. Ou seja, parecem perceber a necessidade de novos critérios para realizar esta seleção, manifestando claramente uma preocupação com a relevância dos conteúdos a serem ensinados. Neste sentido, a participação na construção de Projetos Temáticos mostra-se como uma atividade de grande potencial para o desenvolvimento destes novos critérios, de acordo com os indicativos levantados na primeira seção do questionário.

Seguindo a ordem de apresentação no questionário, “*compreender os conteúdos*” específicos de Física relacionados ao Tema foi classificado em quinto lugar de dificuldade. Analisando os resultados obtidos na primeira parte do questionário, constatou-se que 70% dos respondentes da pesquisa não consideram que seus conhecimentos de Física adquiridos até a ocasião da disciplina INSPE B eram suficientes para a construção de seus Projetos Temáticos.

“*Definir a profundidade e extensão da abordagem*” com a qual trataria estes conteúdos selecionados é uma tarefa que foi considerada de alta dificuldade: 62,5% dos consultados classificaram-na entre as três mais difíceis. Ocupa o segundo lugar no ranking, sendo que a média do grau de dificuldade atribuído a esta atividade tem valor 3,48. Em nossa interpretação, este resultado constitui um indicativo de que a tarefa está sendo enfrentada, já que de outro modo esta dificuldade provavelmente não seria sentida tão agudamente. Entendemos, também, sem nenhuma surpresa, que esta tarefa seja um obstáculo de grandes proporções, pois é quase certo que para a maioria dos licenciandos nesta situação, é a primeira vez em que são colocados perante o problema de realizar uma autêntica Transposição Didática que deve resultar em um produto altamente detalhado e completo que é um Projeto Temático. Um aspecto que se destaca, aliás, no resultado geral desta parte do questionário, e que pode ser claramente observado na tabela 3.9, é que as quatro tarefas consideradas mais difíceis são justamente as que se relacionam mais de perto com a Transposição Didática.

A quinta tarefa em ordem de apresentação no questionário ficou em primeiro lugar em dificuldade no resultado geral. “*Desenvolver novas modelizações*” foi classificada entre as três tarefas mais difíceis por 75% dos respondentes da pesquisa. Segundo os dados obtidos em outras seções do questionário, estes respondentes consideram, ainda que apenas parcialmente, que de fato desenvolveram modelizações em seus Projetos, embora afirmem que os subsídios teóricos que receberam para isto não tenham sido suficientes: isto é confirmado pela forte dificuldade que dizem ter encontrado para enfrentar esta tarefa. Contrastando este resultado com aquele obtido para a análise de conteúdo das propostas de modelização contidas nos Projetos, consideramos que este é um indício de que os sujeitos da pesquisa não estão tomando a tarefa de forma ingênua, isto é, são capazes de perceber que não se trata de um problema trivial com uma solução óbvia. Embora possam apresentar propostas que não se constituam como autênticas modelizações, para garantir o cumprimento do Contrato Didático, ou apresentar tentativas legítimas porém incompletas, por uma questão de não ter familiaridade com o conceito, ou de ter uma reflexão ainda incipiente, etc., o destaque dado à dificuldade desta tarefa mostra que é um obstáculo reconhecido pelos sujeitos.

“Elaborar o planejamento das aulas” e “preparar atividades experimentais” ficaram, respectivamente, em sétimo e sexto lugar geral na classificação ordenada de dificuldades. São, portanto, atividades com as quais os consultados parecem se sentir bastante à vontade. Com relação às atividades experimentais, pôde-se notar que são propostas em grande número no planejamento contido nos Projetos. Em nossa análise de conteúdo, contabilizamos apenas aquelas referidas como modelização, porém muitas outras são propostas sem se fazer esta referência. Sem dúvida há uma grande preocupação dos autores de Projetos em contemplar este tipo de atividades, o que é inclusive exigido no Contrato. Tendo estudado na disciplina INSPE A os grandes projetos históricos de ensino de Física como PSSC, FAI, PEF, etc., e também tendo discutido sobre as atividades experimentais entendidas como uma alternativa na concepção construtivista (PINHO ALVES, 2002) no início da disciplina INSPE B, os sujeitos demonstram não sentir dificuldades em propor tais atividades.

Ao contrário, “Transpor os conceitos para o Ensino Médio” parece apresentar-se como tarefa de certa dificuldade para os sujeitos consultados, especificamente no quarto lugar do *ranking*. Este também não se trata de um resultado muito surpreendente, levando-se em conta que muitos dos conceitos tratados nos Projetos não fazem parte do programa tradicionalmente abordado neste nível de ensino. Destacam-se os conceitos relacionados à Física Moderna, mas esta observação também se aplica a conceitos e relações da Física Clássica, como momento de inércia, espalhamento, equação de Bernoulli, entre outros.

Tabela 3.9. Resultado da terceira parte: Dificuldades na elaboração do Projeto Temático.

Possíveis dificuldades	Posição	Grau de dificuldade médio
Desenvolver novas modelizações	1º	2,55
Definir profundidade e extensão da abordagem	2º	3,48
Selecionar conteúdos	3º	3,85
Transpor os conceitos para o Ensino Médio	4º	4,10
Compreender os conteúdos	5º	4,65
Preparar atividades experimentais	6º	4,83
Elaborar o planejamento das aulas	7º	5,03
Encontrar fontes de pesquisa	8º	5,48

4.2.4 O Conceito de Modelo

O aspecto principal investigado através da aplicação de questionários, para o problema de pesquisa abordado nesta dissertação, foi destacado na seção final deste questionário. Nesta, os respondentes foram consultados especificamente sobre o significado que atribuem ao conceito de modelo. O tipo de escala utilizado é o mesmo que foi empregado da seção anterior, a escala de ranking forçado.

Foram listadas seis definições para este conceito, as quais têm origem principalmente no referencial teórico de análise e na revisão de literatura sobre a modelização na pesquisa da área de educação científica. Em outras palavras, são basicamente as compreensões que foram discutidas no capítulo 1 desta dissertação. Os respondentes eram solicitados a ordenar estas definições segundo o grau de adequação que consideram corresponder a cada uma delas, em ordem decrescente, isto é, atribuindo valor 1 para a mais adequada e 6 para a menos adequada. O percentual de respondentes que atribuiu cada posição do ranking ao respectivo conceito pode ser observado na tabela 3.10. O resultado final desta análise, com as conceituações ordenadas segundo o grau de adequação médio, encontra-se exposto na tabela 3.11.

A primeira definição para o conceito de modelo segundo a ordem de apresentação no questionário expressa a idéia contida no conceito bungeano de objeto-modelo do tipo conceitual e foi descrita como *um conjunto de hipóteses simplificadoras sobre as propriedades do objeto estudado, que busca descrever de forma aproximada este objeto*. Esta definição foi entendida como a mais adequada, do ponto de vista dos respondentes da pesquisa: mais da metade dos sujeitos atribuiu primeiro ou segundo lugar para esta opção. A média aritmética do grau de adequação obtido ficou em 2,53. Este resultado vai de encontro com o que foi observado na análise das propostas de modelização feitas nos Projetos Temáticos, na qual a categoria “objeto-modelo” ficou em último lugar, aparecendo como a compreensão menos compartilhada pelos autores de Projetos. Encontramos assim uma situação paradoxal, pois, o aspecto expresso pelos sujeitos como mais importante para o conceito de modelo, é justamente aquele manifestado como de menor importância em suas produções. Em nossa interpretação, este resultado indica que o ensino de modelização tratado na disciplina INSPE A teve, sim, um papel relevante no saber dos licenciandos, influenciando

em suas compreensões sobre o que são os modelos, mesmo que não tenhamos condições de distinguir, neste momento, que fração desta compreensão se relaciona de fato com aquela disciplina e que fração se deve ao conhecimento que o próprio licenciando desenvolve por seu contato com a ciência Física. Contudo, a competência de modelizar parece ser algo mais do que o conhecimento teórico sobre o que é um modelo. Embora este seja indispensável àquela, não implica nela.

A abordagem do tipo caixa-preta, que atingiu a marca dos 22,9% das propostas de modelização encontradas na análise dos Projetos, teve sua principal marca expressa na segunda opção na listagem, *um conjunto de equações matemáticas que descrevem o mais completamente possível o objeto estudado*. Surpreendentemente, nenhum sujeito colocou esta como a mais adequada entre as definições. Esta definição foi considerada a mais inadequada da lista, sendo que 82,5% dos respondentes classificou-a entre as três menos adequadas. Este resultado é inesperado porque, mais uma vez, distancia-se daquele que foi manifestado nas produções dos autores de Projetos Temáticos.

Novamente temos uma situação contraditória entre estes dois elementos de análise. Os sujeitos refutam a idéia de que as equações matemáticas possam ser identificadas como modelos, porém propõem atividades de modelização nas quais o produto final é uma relação matemática e nada mais (caixa-preta, 22,9%). Além da possível explicação deste aparente paradoxo para a conceituação anterior, podemos aqui entrever que, talvez, esta definição tenha sido tão rejeitada porque não faz menção à atividade experimental, que constitui o outro critério básico de uma caixa-preta. Segundo este raciocínio, a equação matemática apenas poderia ser entendida como um modelo caso tenha sido obtida através de uma experimentação, como é o caso daquelas atividades. Esta explicação parece coerente, já que nenhuma daquelas propostas sugeria a obtenção de relações matemáticas pela via teórica.

O objeto-modelo do tipo pictórico, ou pelo menos um subconjunto deste, foi enfatizado na terceira opção da lista constante no questionário: *uma representação esquemática, concreta, manipulável, tridimensional, como uma maquete*. Também corresponde ao modelo representacional de Kneller (1980), que aliás foi apresentado no texto básico de subsídio teórico na disciplina INSPE A. Esta definição teve uma aceitação intermediária, ficando em quarto lugar na classificação geral.

Tabela 3.10. Resultado percentual da quarta parte – Sobre o conceito de Modelo.

Possíveis conceitos	1º	2º	3º	4º	5º	6º
Simplificação e descrição aproximada	30,0%	35,0%	12,5%	5,00%	10,0%	7,50%
Conjunto de equações matemáticas	0,00%	2,50%	15,0%	22,5%	27,5%	32,5%
Representação do tipo maquete	5,00%	12,5%	25,0%	27,5%	15,0%	15,0%
Apreensão da complexidade de um objeto real	5,00%	15,0%	15,0%	15,0%	12,5%	37,5%
Conjunto de teorias que se refere a um objeto idealizado	27,5%	25,0%	12,5%	17,5%	10,0%	7,50%
Representação por meio de analogia ou metáfora	27,5%	12,5%	20,0%	17,5%	10,0%	12,5%

A quarta opção em ordem de apresentação no questionário constitui uma antítese da idéia de modelizar, uma espécie de “anti-modelo” colocada como uma maneira adicional de testar a noção dos sujeitos consultados sobre os aspectos mais essenciais sobre os modelos. Foi expressa como *uma teoria ou conjunto de teorias ou enunciados que se refere diretamente a um objeto real e que busca, desde sua formação inicial, apreender toda a complexidade do objeto estudado*. Esta definição foi também intensamente rejeitada pelos respondentes, ficando em penúltimo lugar na classificação geral. 65% dos consultados colocaram esta entre as três conceituações menos adequadas. Confirmam, com isso, o posicionamento da primeira opção, pois enfatizam que a construção de um modelo não se orienta em direção à complexidade, mas sim à simplificação. Além disso também parecem indicar discordância com a idéia de que o modelo se refere diretamente ao objeto real, reconhecendo assim outro aspecto importante da noção de modelo.

Aliás, a idéia de que o referente direto de um modelo não é um objeto real, mas um objeto idealizado, é confirmada mais uma vez, pois o segundo lugar em grau de adequação médio para o conceito de modelo foi expresso como *uma teoria ou conjunto de teorias ou enunciados que se refere a um objeto idealizado*. Esta idéia é o núcleo central do conceito de modelo teórico, e 65% dos respondentes classificou entre as três opções mais adequadas, em sua perspectiva. Não obstante, podemos notar que esta relação entre uma teoria e um objeto idealizado não foi a tônica das propostas de modelização analisadas.

Por fim, outra categoria muito presente nestas propostas, “análogos ou simulacros”, foi colocada como a última opção na lista do questionário. Lembramos que, na

análise de conteúdo dos Projetos, esta categoria correspondeu a 28,9% das propostas encontradas, sendo, portanto, bastante significativa. Ela é também defendida como autêntico procedimento de modelização por diversos pesquisadores da área de educação científica, que foram alvo de debate no capítulo 1. E aparece consideravelmente na compreensão expressa pelos respondentes do questionário, os quais, em média, entendem *uma representação de um sistema ou objeto que é feita por meio de uma analogia ou metáfora com outro objeto que já seja conhecido ou mais familiar* como a terceira definição mais adequada para o conceito de modelo. Este resultado não surpreende, pois ao contrário dos demais, é bastante consistente com o que foi expresso através das propostas de modelização nos Projetos Temáticos.

Tabela 3.11. Resultado da quarta parte: Conceito de Modelo.

Possíveis conceitos	Posição	Grau de adequação médio
Simplificação e descrição aproximada	1º	2,53
Conjunto de teorias que se refere a um objeto idealizado	2º	2,80
Representação por meio de analogia ou metáfora	3º	3,08
Maquete	4º	3,80
Apreensão da complexidade de um objeto real	5º	4,28
Conjunto de equações matemáticas	6º	4,73

3.3. PARA CONCLUIR...

Nesta investigação, buscamos compreender a relação entre o significado de modelização que é comunicado na ação docente e aquele que é apreendido pelos professores em formação, no processo de construção de Projetos Temáticos. Procurou-se obter dados junto aos alunos e ex-alunos que já haviam passado pela disciplina de INSPE B, os quais permitissem inferir sobre a noção de modelização admitida por estes grupos. Também se procedeu à análise dos produtos resultantes destes processos, a fim de identificar noções de modelos e modelização implícitas nas propostas de atividades que foram elaboradas pelos licenciandos.

Na tentativa de contextualizar teoricamente a Modelização, no Capítulo 1 foram discutidos diversos aspectos considerados mais relevantes ao problema. Como se buscou explicitar, não se dispõe, na literatura da área, de uma conceituação única ou mesmo predominante deste termo. Devido a esta dificuldade, desenvolvemos uma compreensão à luz da teoria bungeana de modelos, e com base nesta compreensão procuramos interpretar as possíveis lacunas no entendimento sobre Modelização manifestado pelos sujeitos da pesquisa.

Estas interpretações, em grande parte, já foram sendo expostas ao longo da descrição dos resultados que foram obtidos. Nesta seção final do trabalho, procuraremos sintetizar os aspectos principais percebidos sobre o conceito de modelo entendido pelos sujeitos da pesquisa, além de apresentar algumas considerações sobre o significado que a modelização assume no contexto considerado e sobre a relação entre a modelização e a abordagem temática.

3.3.1 O Licenciando-modelo

Delizoicov (2004), ao questionar sobre o significado e o papel da pesquisa básica em educação científica, destaca a inhomogeneidade temporal e anisotropia espacial características dos fenômenos que são objeto desta pesquisa. Interpreta estas propriedades como indicativos de que não devemos procurar invariantes universais. No caso da presente investigação, é certo que não podemos generalizar os resultados para interpretar o pensamento de todos e quaisquer professores de física formados e em formação, que estudam e exercem suas profissões nos mais diferentes contextos. De nossa parte, porém, ousamos admitir a hipótese de um “licenciando-modelo” que, dada uma formação básica comum, lançando mão de determinados recursos e metodologias específicos, desenvolve com maior ou menor aprofundamento determinadas conceitualizações que constituem, em parte, os objetivos daquela formação. Isto é, abstraímos as variações individuais entre os sujeitos, pois não poderíamos levar em conta todas as variáveis que interferem de alguma maneira neste processo. Não levamos em consideração, por exemplo, os diferentes momentos em sua formação que se encontravam os respondentes do questionário, suas experiências docentes, etc. Além disso, a amostra de sujeitos que respondeu ao questionário não corresponde exatamente ao mesmo conjunto que teve a autoria dos Projetos Temáticos analisados. Pressupomos, porém, que o caráter mais restritivo deste contexto, muito menos abrangente do que o contexto escolar brasileiro, permita admitir condições de contorno razoavelmente definidas, pois estamos tratando da formação de um profissional específico, com uma determinada finalidade e filosofia de curso, e prestando atenção a um aspecto particular desta formação. Em vista disso, consideramos razoável supor que os resultados que obtivemos para esse “licenciando-modelo” possam ser considerados representativos e auxiliar na compreensão de nosso problema de pesquisa.

Analisando o conceito de modelo manifestado pelos licenciandos à luz da teoria bungeana, pôde-se notar a ocorrência de uma fragmentação entre os objetos-modelo, teorias gerais e modelos teóricos. Estas três instâncias que se articulam para a produção do conhecimento científico aparecem, quase sempre, separadas umas das outras nas propostas de modelização que os licenciandos elaboram: as teorias gerais não parecem ter qualquer relação com o tema modelos, nem qualquer papel na produção destes; portanto não são relacionadas com os objetos-modelo que, quando aparecem, são pouco vinculados com o restante do saber;

os modelos teóricos, por fim, ao invés de proporcionar a ligação entre os dois elementos anteriores, surgem quase exclusivamente da experimentação e da matematização, em um aparente retorno ao paradigma empirista. A maior parte das propostas analisadas, inclusive, deixa transparecer um entendimento de modelização como sinônimo de atividade experimental. Os licenciandos, porém, reconhecem este obstáculo. Conforme foi visto na análise dos resultados, eles consideram o desenvolvimento de modelizações como a tarefa de maior dificuldade na construção do Projeto Temático. Possivelmente, este reconhecimento pode significar que os licenciandos percebam, pelo menos parcialmente, que uma autêntica modelização não pode ser apenas, nem simplesmente, uma atividade experimental ou uma analogia. O fato de considerarem insuficientes os aportes teóricos recebidos parece reforçar a idéia de que os sujeitos percebem que a modelização é um obstáculo não totalmente transposto.

Este indicativo, aliás, pode ser interpretado através das considerações teóricas que fizemos ao desenvolver nossa compreensão de modelização à luz da teoria bungeana. Conforme já registramos, os exemplares de modelização trabalhados com os alunos consistem nas atividades de “modelização de variáveis” desenvolvidas por Pinheiro (1996). Também comentamos que se trata de uma proposta voltada para o início do primeiro ano do Ensino Médio, e que tem como foco a construção das relações entre as variáveis de um dado sistema a ser modelizado. Ela fornece ao estudante que inicia sua aprendizagem científica alguns instrumentos conceituais básicos, como os algarismos significativos, as diferentes formas de representar uma função, a interpretação de gráficos, entre outros. Certamente, tais conhecimentos são indispensáveis à educação em Ciências, e o caráter introdutório da proposta requer problemas razoavelmente simples, para os quais seja possível construir a relação entre as grandezas físicas utilizando as ferramentas conceituais disponíveis.

As situações que surgem nos Temas dos Projetos, por outro lado, são em geral bem mais sofisticadas. Mesmo com um exemplo dos mais simples, que é o pêndulo, podemos perceber um considerável aumento de complexidade, tanto em relação à forma da curva, como na interpretação da variável interveniente. Entendemos assim que a referência factual, que é uma característica da Física, mas não da Matemática, acrescenta uma dificuldade ao processo, para cujo enfrentamento os licenciandos não possuem exemplares.

É no conceito de modelo expresso pelos licenciandos através dos questionários que podemos obter um indicativo a mais para nossa interpretação de que estes sujeitos não carregam uma compreensão assim tão ingênua sobre este conceito. O caráter aproximativo e

idealizado da noção de modelo é que foi colocado em ênfase: categorias que representavam objeto-modelo e modelo teórico foram as mais aceitas entre os respondentes, ficando em primeiro e segundo lugar na classificação média, respectivamente. Assim, o resultado obtido mostra que o entendimento teórico sobre modelo preferencialmente expresso pelos sujeitos não se distancia tanto daquele que defendemos. Mobilizar este conhecimento de maneira a implementá-lo em atividades práticas de ensino, porém, é um desafio ainda por ser conquistado, pois a competência para desenvolver novas modelizações parece ser algo mais que o conhecimento teórico sobre o que são os modelos. Uma possibilidade para auxiliar no enfrentamento desta questão seria o desenvolvimento de um conjunto de exemplares de atividades de modelização que incorporasse de forma enfática a relação entre teoria e realidade na produção do conhecimento, explicitando o percurso de abstrações e idealizações necessárias à elaboração dos objetos-modelo e modelos-teóricos.

Todavia, em uma perspectiva mais abrangente para o processo formativo do professor, não restrita ao contexto considerado nesta pesquisa, o enfrentamento deste problema dificilmente poderá ter êxito enquanto os conceitos de modelo e modelização forem tão diversos como são atualmente na pesquisa em educação científica. Não se trata de pretender a substituição das outras compreensões por aquela que defendemos, mas de investir em um exame mais aprofundado sobre o significado atribuído a estes conceitos a fim de favorecer a comunicação dos pesquisadores entre si e com os professores que buscam a apropriação deste instrumento que é a modelização.

Parece assim não haver ainda um paradigma bem definido para o que seja a modelização, dentro da área de investigação em educação científica. Em função disto é que investimos, no segundo capítulo, em fundamentar e desenvolver uma compreensão que forneça base para este trabalho. Esta compreensão se configura como um avanço em um caminho já apontado por Pietrocola (1999). Além de constituir uma possibilidade para fundamentar a proposição de atividades de sala de aula e de ter dado o suporte teórico necessário para interpretar os dados empíricos nesta investigação, também nos auxiliou a perceber ou pelo menos a expressar uma percepção sobre o significado que a modelização assume dentro da proposta de Projetos Temáticos na disciplina INSPE B. Discutiremos sobre este significado, que é duplo, na seção que segue.

3.3.2 O duplo significado da modelização

Nesta abordagem temática, a pergunta cuja resposta será o conteúdo do Projeto Temático se refere a uma situação concreta. Mas, para respondê-la, isto é, para criar um modelo explicativo dessa situação real, é imperativo que sejam feitas as mencionadas idealizações e aproximações, ou seja, que um objeto-modelo seja proposto. Ele não é dado a priori. Noutras palavras, a tarefa nesta proposta é a formulação de uma explicação para algum evento centrado em um fenômeno físico, contemplando inclusive a escolha de quais conteúdos de conhecimento são ou deixam de ser relevantes àquele fenômeno. Somente após esta formulação poderá ser feita uma Transposição Didática com vistas a produzir o saber a ensinar que será o conteúdo do projeto e na qual estarão contidas as atividades de Modelização no sentido de recursos metodológicos.

Para esclarecer um pouco mais, analisemos um exemplo: o Tema “Céu Azul”. Uma consulta mesmo superficial à literatura revela a ocorrência de múltiplas explicações científicas, lançando mão de diferentes objetos-modelo. No modelo proposto por Rayleigh, a matéria espalhadora é suposta como esferas rígidas muito pequenas (cujo raio é muito menor do que o comprimento de onda da luz incidente) e que estão suficientemente afastadas (para que se possa considerar que o espalhamento produzido por n esferas seja igual a n vezes o espalhamento produzido por uma esfera). Este objeto-modelo é inserido na teoria ondulatória clássica e o modelo teórico deduzido fornece a intensidade da luz espalhada em função do comprimento de onda. Em outro modelo, associado aos nomes de Einstein e Smoluchowski, se supõe que a matéria é contínua e que flutuações da densidade fazem com que o índice de refração seja uma função aleatória da posição. Com este objeto-modelo completamente diferente, Einstein (1910) obtém a mesma dependência da intensidade espalhada com o comprimento de onda obtida por Rayleigh, a saber, o inverso da quarta potência. Em outras abordagens se consideram objetos-modelo diversos para representar o agente espalhador, como as moléculas dipolares girantes ou os elétrons ligados oscilantes.

Tratando-se de elaborar uma explicação para o azul do céu, qual destes objetos-modelo escolher? Quais traços do referente real idealizar, e quais abstrair? Bunge (1976), examinando estes problemas do ponto de vista epistemológico, ressalta que as soluções dependem tanto do objetivo como dos instrumentos conceituais disponíveis ao teorizador,

destacando que não existe solução única, nem uma receita para a elaboração de modelos teóricos. Acreditamos que as mesmas observações se aplicam aos licenciandos nesta situação didática.

Isto posto, torna-se possível identificar dois sentidos que a Modelização assume nesta proposta por Projetos Temáticos. O primeiro consiste na modelização como uma atividade de sala de aula, uma estratégia de ensino que visa conduzir os estudantes a construir um modelo explicativo para um objeto ou fenômeno da natureza através de um procedimento que articula teoria e empiria. Os autores de Projetos Temáticos são colocados perante a tarefa de criar atividades deste tipo, após terem escolhido para quais conceitos eles desenvolverão estas modelizações. É neste sentido que investigamos a modelização ao resgatar as compreensões deste conceito na literatura da área e ao oferecer um entendimento com base na teoria bungeana sobre os modelos científicos.

O segundo se refere a uma ação desenvolvida pelos licenciandos que é anterior à proposição de metodologias de ensino, e que ocorre como parte da Transposição Didática. Consiste na identificação, seleção e exploração de candidatos a objeto-modelo que permitam modelar o fenômeno físico focado. Isto implica em recorrer a um saber sábio o qual, as mais das vezes, foi produzido em um contexto diferente. Neste processo tomam lugar variáveis principalmente de ordem epistemológica e cognitiva. No tema citado há pouco, por exemplo, a escolha de um objeto-modelo poderia contemplar critérios como simplicidade, coerência com o Tema, generalidade ou a mecanicidade (mencionada no capítulo 1). Mas, trabalhar com estes critérios exige uma compreensão conceitual consideravelmente aprofundada sobre estes modelos. Pois, de um modo geral, a forma e o conteúdo do saber a ensinar do qual os licenciandos se apropriam nas disciplinas de Física Básica não se voltam à explicação de situações realísticas deste tipo, mas diretamente aos conceitos já idealizados. Mesmo nos casos em que algum destes temas aparece para exemplificar o uso de um conceito, normalmente isto é feito de forma excessivamente superficial.

É neste sentido que Lopes e Costa (2007) se referem às *competências de modelização*:

[...] as competências de modelização são as capacidades efetivas de mobilizar, escolher, utilizar e articular informação e conhecimento [...] quando uma pessoa tenta solucionar uma situação-problema que requer a construção/mobilização de um modelo. De acordo com uma teoria sobre a construção/uso de conceitos físicos [...], as competências de modelização distribuem-se em três dimensões: maneira de enfrentar, conceitualização e trabalho operacional (LOPES; COSTA, 2007, p. 812, tradução nossa).

Nesta perspectiva da Modelização, Rezende Junior (2006) investiga o potencial desta atividade no processo de conceitualização dos licenciandos. A partir de uma análise à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud (1996), Rezende Junior conclui que:

... foi durante a elaboração e reestruturação dos PT [Projetos Temáticos] que [os licenciandos] acabaram por ter um contato mais próximo com a fenomenologia da Física, ou seja, dos processos de construção de modelos de forma sistemática e gradual e com objetivos claros de ensino” (REZENDE JUNIOR, 2006, p.178).

Este processo de Modelização, conforme é analisado do ponto de vista cognitivo no trabalho de Rezende Junior (2006), se refere, portanto, à elaboração de uma certa compreensão, um modelo do Tema, por parte dos licenciandos. A elaboração resultante deste processo, na forma de um modelo teórico explicativo do Tema, se encontraria ainda num nível adequado ao curso superior de Física. Dado que o objetivo final dos projetos é sua aplicação no Ensino Médio, faz-se necessária uma nova Transposição.

A Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991) deste conteúdo seria o momento de transformar os conteúdos do Projeto para um saber a ensinar. Nessa etapa se fazem presentes, além das variáveis ligadas aos setores epistemológico e cognitivo, também aquelas especificamente didáticas, sendo necessário agora levar em conta objetivos educacionais, critérios para selecionar novamente a profundidade e extensão do que será ensinado, o tempo disponível, as metodologias que serão empregadas, como as *atividades de modelização*, por exemplo.

É preciso esclarecer que esta divisão de sentidos é uma interpretação da pesquisadora, a partir da constatação destes dois significados relacionados ao uso do termo “Modelização” no contexto considerado. Não há uma separação formal ou mesmo explícita destes sentidos na organização da disciplina. Pelo contrário, em diversos momentos de arguição pareceu ambíguo, não ficando claro, ao se falar em Modelização, em qual sentido o termo estava sendo tomado. Por outro lado é preciso reconhecer também que esta divisão tem caráter principalmente analítico, pois do ponto de vista processual, essas Modelizações acontecem de forma entrelaçada.

3.3.3 A relação entre a modelização e a abordagem temática

O processo de construção de um Projeto Temático requer, evidentemente, o tratamento de um Tema (em oposição a uma abordagem conceitual). Nem sempre foi assim: em versões mais antigas da proposta, os assuntos escolhidos para a confecção dos Projetos eram conceitos, tais como “*momento de inércia*”, “*ondas eletromagnéticas*”, etc. Nestes casos, os alunos deveriam elaborar a contextualização para trabalhar estes conceitos. Para os conceitos citados, por exemplo, foram elaborados projetos que tratavam, respectivamente, a física do salto da ginasta Daiane dos Santos e o funcionamento do forno de microondas. Em versões mais recentes, principalmente a partir de 2005, modificou-se a forma de se apresentar a tarefa. No lugar de indicar conceitos, os docentes da disciplina passaram a apresentar certos fenômenos naturais ou objetos tecnológicos como assuntos sobre os quais cada grupo deveria desenvolver seu Projeto, tais como “*A evolução da fotografia: da câmera caixão à máquina digital*”, ou “*Céu em chamas: das auroras polares aos raios cósmicos*”.

O que parece necessário destacar em relação a este aspecto é o rompimento radical promovido pela substituição dos conceitos por eventos centrados em fenômenos da natureza. Embora possa parecer, à primeira vista, que esta alteração pouco ou nada modifique a atividade proposta, já que os fenômenos acabavam por aparecer na contextualização escolhida pelos alunos, o que se pôde perceber é que esta substituição acaba por provocar uma modificação profunda no problema com o qual os alunos precisam lidar. Examinemos as razões.

Notamos que nas situações tradicionais de Ensino de Física o objeto a ser ensinado aparece, desde o início, já idealizado, abstraído e sintetizado nas suas características mais relevantes, enunciado na forma de um conceito, lei ou princípio. Apenas após a formalização do conceito, eventuais relações com situações da realidade são apresentadas, como exemplos. Em outras palavras, o objeto de conhecimento é o próprio conceito, investido de significado por si mesmo.

Ainda, usando a terminologia de Bunge, podemos dizer que o ponto de partida dessas situações são os objetos-modelo e modelos teóricos. Embora se possa argumentar que essa abordagem é coerente com o tempo didático, levando o aluno mais rapidamente ao que há de essencial e universal, em geral ela aniquila o processo de Modelização, já que oferece o

modelo como um produto pronto e não explícita, em muitos casos, a relação entre este e seu referente real.

É preciso esclarecer que, mesmo na proposta inicial dos projetos baseada nos conceitos, não se pode enquadrar esta como uma atividade tradicional. Pois, o conhecimento veiculado não é auto-justificado nem descontextualizado, faz-se uso de muitos outros métodos além do expositivo, não se assume o pressuposto da aprendizagem por transmissão e emprega-se diversos instrumentos oriundos de análises inovadoras, como o Contrato Didático (BROUSSEAU, 1986) e a Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991). Também se dá ênfase à Modelização como recurso metodológico que deve necessariamente ser utilizado na produção dos projetos. Enfim, a proposta oferece justamente uma alternativa de orientação construtivista para o Ensino de Física, tanto nos seus objetivos formais quanto em seu encaminhamento prático.

Não obstante, ao colocar a tarefa de elaboração do projeto em torno de um conceito, seja um objeto-modelo ou outro construto tal como uma lei ou princípio, delimita-se previamente o conteúdo físico que será trabalhado. Certamente, imaginar e construir atividades de modelização sobre conteúdos físicos configura-se como um desafio a qualquer licenciando e mesmo a professores experientes, tanto pela escassez de exemplares como pela polissemia do termo, que foi discutida em capítulos anteriores. Mas esta é uma dificuldade que se localiza na proposição de metodologias, pois o construto a ser modelizado já estaria predefinido. Este construto é, do ponto de vista didático, fruto de uma modelização que ocorreu no passado e já se encontra idealizado e abstraído.

Por outro lado, ao tratar um Tema, seja uma situação do cotidiano, um objeto tecnológico ou qualquer evento físico, dificilmente será possível evitar que o ponto de partida se localize em um objeto da realidade, ou seja, o objeto de conhecimento é, nessa situação, um objeto concreto. Em outros termos, pode-se notar que os licenciados são colocados perante situações não-modelizadas, isto é, situações realísticas no sentido de não terem sofrido ainda os recortes de abstração e idealização necessários à sua Transposição.

A atividade de construção de Projetos Temáticos, na perspectiva didática em que é encaminhada no contexto considerado, constitui-se como uma abordagem favorecedora da ressignificação dos conceitos físicos. Este é um dado observado com forte destaque na primeira seção dos questionários. Podemos agora interpretá-lo à luz do segundo sentido que a modelização assume nesta atividade, o qual foi descrito na seção precedente.

Ao enfrentar a tarefa de produzir uma explicação para uma situação realística como são os Temas abordados nestes Projetos, o licenciando é colocado perante uma situação didática que se distingue profundamente das situações tradicionais, e esta distinção está, como já discutimos, no fato de se tratarem de situação ainda não idealizadas e abstraídas. Construir esta explicação requer, entre outras coisas, a aplicação de critérios para escolher aspectos da situação que serão desprezados e outros que serão inventados, ou seja, constituir um objeto-modelo. Nestes critérios, ele precisa contemplar a natureza do Tema, isto é, fazer escolhas tais que sejam adequadas à compreensão do tema, e não simplesmente à compreensão de um conceito de Física isolado. Isto não é possível a menos que ele passe a ver além dos produtos da Transposição Didática que resultaram nos programas típicos presentes tradicionalmente em cada nível de ensino. E é ao fazer isto que ele poderá se dar conta de determinados significados e relações que foram deixados para trás naquela Transposição.

Um exemplo simples é a abordagem tradicional presente nos livros básicos de nível superior e que é utilizada ao se tratar sobre as ondas mecânicas. Nesta, é típica a classificação em ondas transversais e ondas longitudinais. O exemplo quase sempre usado para as ondas transversais é a onda se propagando numa corda. Idealiza-se uma corda que possui apenas comprimento, sendo assim unidimensional (embora o padrão de cristas e vales seja em duas dimensões), para introduzir uma densidade linear de massa da corda. As variações são sempre fios, cabos, cordas de instrumentos, etc. Associa-se, assim, ondas transversais a objetos que têm somente comprimento. As ondas longitudinais, por outro lado, propagam-se em meios como barras sólidas e em fluidos. O exemplo típico de onda longitudinal são as ondas acústicas. A forma de apresentação deste mesmo conteúdo na escola básica é essencialmente a mesma, apenas com menor sofisticação matemática.

Perante uma situação diferenciada como a que ocorre na construção dos Projetos Temáticos, o objeto a ensinar não é mais a onda longitudinal ou a onda transversal, mas, digamos, as ondas sísmicas. Ao procurar conhecer este objeto, o licenciando em questão veria desestabilizados aqueles conceitos sobre ondas mecânicas, pois logo descobriria que: 1) as ondas sísmicas têm a mesma natureza das ondas acústicas; e 2) estas ondas podem ser tanto transversais como longitudinais. Seriam ondas semelhantes ao som, que podem se propagar transversalmente e ainda em um corpo sólido, que são as rochas que constituem as placas tectônicas. Não somente as ondas transversais não se restringem a cordas e coisas semelhantes a cordas, mas também as ondas acústicas não precisam ser necessariamente longitudinais.

Levando em consideração que os manuais didáticos das disciplinas básicas de

nível superior são, em geral, muito semelhantes uns aos outros, e que propõem problemas que quase sempre são fechados e autoconsistentes com as abstrações e idealizações feitas, muitas vezes implicitamente, em seus conteúdos, podemos supor que dificilmente o licenciando poderá ser dar conta do caráter aproximativo presente em tal classificação e até mesmo de uma certa arbitrariedade contida nestes exemplos, caso sua formação seja baseada somente neste tipo tradicional de situações.

Assim também podemos entender o motivo de os consultados manifestarem, nos questionários, o impacto desta atividade em sua forma de conceber o conhecimento físico, seu caráter e suas finalidades. Pois, ao inverter o foco do objeto de conhecimento, de um objeto já idealizado e abstraído para algo que ainda está em forma parcialmente bruta, estes processos de idealização e abstração podem ser novamente resgatados, e assim é possível favorecer o entendimento de que as teorias físicas não se referem diretamente a objetos reais, mas a objetos-modelo.

3.3.4 Considerações finais

Na seção introdutória desta dissertação, levantamos o problema da relação entre o conhecimento escolar e a realidade vivenciada pelos estudantes da escola básica, relação esta que, sendo pouco valorizada na perspectiva tradicional, tornou-se frágil e enfraquecida no contexto escolar brasileiro. A Transposição Didática resultante de uma concepção empirista do conhecimento introduz distorções em seus produtos, as quais são próprias daquela concepção. A desconsideração do papel do sujeito do conhecimento, por exemplo, leva a confundir o objeto de conhecimento com o conhecimento produzido sobre este objeto, ou seja, a não perceber a distinção entre os objetos reais e os objetos-modelo. Nesses termos, não é difícil entender a dificuldade dos estudantes em atribuir significado a esses conhecimentos.

Este mesmo tipo de distorção ocorre em nível superior, já que se trata de um sistema formativo que carrega, de uma forma geral, a mesma concepção tradicional e empirista como alicerce de sua estrutura de conteúdos e metodologia. Assim, não pode haver perspectiva de mudança na educação básica antes que ocorram modificações no modelo formativo do professor. Daí a importância de se propiciar espaços, durante a formação inicial, para uma reflexão mais aprofundada sobre a relação entre os conhecimentos científicos e a realidade cuja interpretação estes conhecimentos deveriam favorecer. É no entendimento desta relação que identificamos os modelos e a modelização, tanto na ciência como em seu ensino.

Westphal (2006), em sua investigação sobre a formação do licenciado, na mesma instituição na qual foi implementada nossa pesquisa, obtém alguns indicativos que são consistentes e até mesmo complementares com os que percebemos. A respeito da dicotomia que notamos em relação ao entendimento de modelo manifestado pela análise dos Projetos Temáticos, no qual predominam aspectos de uma concepção empirista do conhecimento, e do conceito expresso pelos sujeitos nos questionários, o qual enfatiza a idealização e a abstração e se aproxima assim de uma perspectiva mais coerente com a concepção realista crítica, notamos que Westphal também conclui pela existência de uma situação contraditória semelhante.

[...] verificou-se que, apesar do discurso progressista, que revela um alto grau de apropriação envolvendo concepções de cunho construtivista, os licenciados investigados revelam adotar, na maioria das vezes, metodologias de ensino *tradicionais* [...] a dicotomia entre a teoria e a prática, entre o discurso e a

experiência, entre as metodologias propostas nas disciplinas pedagógicas e aquelas vividas ao longo da formação específica do licenciado é um fato (WESTPHAL, 2006, p. 218).

Para Westphal (2006), portanto, esta dificuldade é fruto de uma dicotomia existente no processo formativo do professor, entre a própria concepção espontânea deste professor sobre o trabalho docente, a qual se baseia em suas vivências como aluno, predominantemente em perspectivas tradicionais, e a perspectiva construtivista que os docentes das disciplinas didático-pedagógicas buscam introduzir nesta formação. A pesquisa desenvolvida por Westphal não somente teve como alvo o mesmo contexto formativo que a presente pesquisa (embora numa perspectiva bem mais ampla, pois investigou o curso como um todo), mas também, tendo em vista o intervalo de tempo em que foi desenvolvida, certamente a amostra investigada por Westphal deva ter uma considerável intersecção com nossa amostra de sujeitos.

Assumimos, junto com Westphal, que pelo menos parte das raízes daquela contradição entre os entendimentos manifestados e expressos pelos sujeitos seja resultado desta dicotomia existentes no processo formativo do professor. Acrescentamos ainda que, provavelmente, a situação de outros cursos de licenciatura em outras instituições brasileiras deva ter semelhanças, pois a abordagem tradicional continua predominante tanto na escola básica como nas disciplinas específicas de Física no curso de graduação, e existe também alguma homogeneidade nas disciplinas didático-pedagógicas, tendo em vista que buscam contemplar resultados da pesquisa em educação científica amplamente compartilhados nesta área de pesquisa, além de atender à legislação vigente, que é também um aspecto comum.

Interpretando o resultado, aparentemente contraditório, que obtivemos para a compreensão sobre modelos e modelizações dos sujeitos da amostra pesquisa, podemos dizer, em uma leitura de Astolfi (1994), que a atividade de construção dos Projetos Temáticos por certo promoveu uma *desestabilização*, embora ainda não uma completa *interiorização* dos aspectos essenciais destes conceitos. Esta interiorização talvez possa ser favorecida, como já indicamos, pelo desenvolvimento de exemplares voltados a situações mais complexas e assim mais próximas àquelas se impõem nos Temas trabalhados, e que ao mesmo tempo incorporassem de forma mais explícita o tratamento de aspectos relacionados à referência factual da Física, isto é, a relação entre o conhecimento teórico e a realidade física.

O domínio empírico, tanto em seu papel heurístico na construção de objetos-modelo como também em sua possibilidade de ajudar a obter modelos do tipo caixa-preta,

pode e deve fazer parte do processo de obtenção de modelos teóricos, porém é necessário que este processo leve em conta também as teorias gerais, indispensáveis para a interpretação destes modelos teóricos e para a atribuição de um significado às variáveis intervenientes, possibilitando lançar luz sobre aquelas caixas. O esclarecimento de qual é o objeto-modelo considerado para representar o objeto real que constituiu a referência do modelo também é um aspecto da maior importância. As abstrações, idealizações e aproximações feitas, em lugar de serem ocultadas, precisam ser objeto de discussão em sala de aula, pois do contrário não é possível uma compreensão adequada sobre o conhecimento físico. A modelização, em nosso ponto de vista, deve se constituir como um processo que, ao mesmo tempo em que leva em conta estas operações, também permite tornar explícita a relação entre a teoria e a realidade, ao conjugar estas duas instâncias para a construção de um conhecimento.

A atividade de construção de Projetos Temáticos, desenvolvida durante a disciplina INSPE B do curso de licenciatura em Física da UFSC, aparece como um espaço privilegiado para a implementação de intervenções que busquem este objetivo de modelizar na formação inicial de professores de Física, pelo seu caráter inovador e diferenciado. Isto é confirmado, por um lado, pela posição dos próprios sujeitos da pesquisa, que manifestam forte reconhecimento do potencial desta atividade em contribuir significativamente tanto para a compreensão sobre o caráter do conhecimento científico como para a clareza de critérios de ensino e, por outro lado, pelas considerações que fizemos na seção anterior sobre a relação entre a modelização e a abordagem temática. A ressignificação dos conhecimentos físicos, também fortemente destacada pela amostra de sujeitos da pesquisa, poderia ser entendida, em uma leitura de Lopes e Costa (2007), como um aspecto diferenciado para a conceitualização, uma das dimensões da competência de modelizar. Neste sentido, podemos nos apoiar também nos resultados obtidos por Rezende Junior, que conclui que...

[...] o que INSPE tem proporcionado através da dinâmica de desenvolvimento, confecção e aplicação dos PT é a criação de situações diferenciadas que favorecem a conceitualização, onde a introdução da fenomenologia e a modelização foram fundamentais no desenvolvimento de todo esse processo, pois conferiram elementos cuja função era de harmonizar as questões didáticas com o processo cognitivo interno, além de conferir ao ato didático uma dinamicidade característica do fazer científico (REZENDE JUNIOR, 2006, p. 220).

Consideramos ainda que a distinção entre as *competências de modelizar* e as *atividades de modelização* poderia auxiliar na organização das atuais discussões sobre modelizar no ensino, nas quais estas categorias ainda aparecem de forma ambígua e pouco clara. As competências de modelizar, necessárias à formação dos professores, também

poderiam ser almeçadas na educação científica básica, guardadas as devidas proporções. As atividades de modelização, tanto como exemplares e como propostas de atividades de sala de aula, poderiam ter sua contribuição submetida a avaliações empíricas, além das teóricas, através da proposição, implementação e análise de atividades deste tipo.

Em síntese, podemos dizer que o principal resultado obtido por meio desta investigação consiste na variedade de entendimentos distintos sobre o conceito de modelo que são manifestados pelos professores em formação no curso de licenciatura em Física. A análise destes entendimentos permitiu constatar uma fragmentação existente entre as três instâncias que tomam lugar na construção dos modelos científicos, que são os objetos-modelo, as teorias gerais e os modelos teóricos. Cumprindo diferentes papéis, estas instâncias podem ser entendidas, em uma perspectiva realista crítica, como manifestações das contribuições do sujeito e do objeto no ato de conhecer. Fragmentadas da maneira como foram percebidas nas propostas de modelização contidas nos Projetos Temáticos, direcionam-se, pelo contrário, para uma visão empirista do conhecimento, pois enfatizam predominantemente a experimentação e o tratamento lógico-matemático de dados empíricos, em detrimento das abstrações e idealizações necessárias à obtenção do conhecimento.

Um olhar mais abrangente permite interpretar esta constatação como uma manifestação de dois aspectos: a tendência dos professores em formação em reproduzir as perspectivas epistemológicas e didáticas que estão na base de suas próprias vivências escolares, anteriores e simultâneas ao curso de graduação, e a relativa falta de maturidade do conceito de modelização na área de pesquisa em educação científica e tecnológica, na qual este conceito é ainda bastante polissêmico.

Destaca-se, também, pelas manifestações dos sujeitos da amostra investigada, a potencialidade da proposta de Projetos Temáticos no desenvolvimento de critérios e objetivos claros de ensino e de uma reflexão mais aprofundada sobre o caráter do conhecimento físico. Esta é uma proposta em contínua evolução que merece ser avaliada e aperfeiçoada, por seu grande potencial em favorecer o desenvolvimento de competências e atividades de modelização. Esperamos com este trabalho ter fornecido indicativos que auxiliem neste aperfeiçoamento e que contribuam também para o avanço das discussões contemporâneas sobre a modelização na educação científica, em direção a um entendimento mais compartilhado, de forma que possa ser efetivado seu potencial de fornecer um incremento de qualidade ao ensino de Física na escola básica.

REFERÊNCIAS

- ADÚRIZ-BRAVO, Agustín; MORALES, Laura. El Concepto de Modelo en la Enseñanza de la Física – Consideraciones Epistemológicas, Didácticas y Retóricas. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 19, n.1, p.76-88, abr. 2002.
- ASTOLFI, Jean Pierre; DEVELAY, Michel. **A Didática das Ciências**. Campinas: Papyrus Editora, 1991.
- BAILER-JONES, Daniela. Models, Metaphors and Analogies. In: **The Blackwell guide to the philosophy of science**. MACHAMER, Peter K.; SILBERSTEIN, Michael (Eds). Copenhagen: Wiley-Blackwell, 2002.
- BARBOSA, João Paulino; BORGES, Antônio. O entendimento dos estudantes sobre energia no início do ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, p. 182-217, ago. 2006.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1998.
- BASSANEZI, Rodney Carlos. **Ensino Aprendizagem com Modelagem Matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.
- BLACK, Max. **Models and Metaphors**. New York: Cornell University Press, 1962.
- BOGDAN, Robert C.; BIKLEN, Sari Knopp. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução a teoria e aos métodos**. Porto: Porto, 1982.
- BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Curso de Física. **Parecer CNE/CES 1.304/2001**, de 06 de novembro de 2001. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 dez. 2001. Seção 1, p. 25.
- BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Institui a duração e a carga horária dos cursos de licenciatura, de graduação plena, de formação de professores da Educação Básica em nível superior. **Resolução CNE/CP 2/2002**. Diário Oficial da União, Brasília DF, 4 mar. 2002.
- BROUSSEAU, Guy. Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. **Recherche en didactique des mathématiques**. La Pensée Sauvage: Grenoble, 1986.
- BROUSSEAU, Guy. Pratique de la modelisation par les élèves et complexité didactique. In: COMITE SCIENTIFIQUE DES I.R.E.M. **La Modelisation**. Paris: IREM de Paris 7, 2003b. p. 25 – 28.
- BROUSSEAU, Guy. Quels Type de Savoirs Mathématiques utilise-t-on dans la Modélisation? In: COMITE SCIENTIFIQUE DES I.R.E.M. **La Modelisation**. Paris: IREM de Paris 7, 2003a. p. 13 – 17.
- BUNGE, Mario. **Epistemologia: curso de atualização**. São Paulo: Queiroz e Edusp, 1980.

BUNGE, Mario. **La Ciencia**. Su método y su filosofía. 3ª edición. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1998.

BUNGE, Mario. **Racionalidad y realismo**. Madrid: Alianza Editorial, 1985.

BUNGE, Mario. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

CARTWRIGHT, Nancy D. Models and the Limits of Theory: Quantum Hamiltonians and the BCS Model of Superconductivity. In: MORGAN, Mary S.; MORRISON, Margaret. **Models as Mediators**. Cambridge University Press, 1999. p. 241 – 281.

CHAKRAVARTTY, Anjan. The Semantic or Model-Theoretic view of Theories and Scientific Realism. **Synthese**, v. 127, n. 3, 325-45, jun. 2001.

CHEVALLARD, Yves. **La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné**. Paris : La Pensée Sauvage, 1991.

COLINVAUX, Dominique. **Modelos e educação em Ciências**. Rio de Janeiro: Ravil, 1998.

COLL, Richard K. The role of models/and analogies in science education: implications from research. **International Journal of Science Education**, v. 27, n. 2, p. 183 – 198, 2005.

CRUZ, Sonia Maria S. C. S. ; REZENDE JUNIOR, Mikael Frank ; CRUZ, Frederico Firmo de Souza . Situações Didáticas Diferenciadas e seu papel na Formação inicial de professores de Física. In: **V ENPEC**, 2005, Bauru. **V ENPEC**, 2005. v. 5

CRUZ, Sonia. Maria S. C. S; PINHO-ALVES, José. A disciplina de Instrumentação, a pesquisa em Educação e o novo perfil dos licenciados em Física. In: VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2003, Bauru. **IV ENPEC**, 2003. v. 1. p. 123-125.

CUPANI, Alberto; PIETROCOLA, Maurício. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. n. especial, p. 100-125, 2002.

DELIZOICOV, Demétrio. Pesquisa em ensino de ciências como ciências humanas aplicadas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 2, p. 145-175, 2004.

DELIZOICOV, Demétrio. Resultados da pesquisa em Ensino de Ciências : Comunicação ou Extensão? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 364 – 378, dez. 2005.

DROUIN, Anne-Marie. Le modèle en questions. **Aster**, v.7, p.1-20, 1988.

DUIT, Reinders; GLYNN, S. Mental Modelling. In: WELFORD, G.; OSBORNE, J.; SCOTT, P. (Eds.). **Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes**. London: Falmer Press, 1996, p. 166-176.

DUTRA, Luiz Henrique A. **Introdução à teoria da ciência**. 3ª. Edição revista e ampliada. Florianópolis: Editora da UFSC, 2009.

EINSTEIN, Albert. Theorie der Opaleszenz von homogenen Flüssigkeiten und Flüssigkeitsgemischen in der Nahe des kritischen Zustandes. **Annalen der Physik**, Leipzig, 1910.

FOUREZ, Gérard. **Alfabetización científica y técnica**. Argentina. Ediciones Colihue, 1997.

GAIDIOZ Pierre ; TIBERGHIEEN Andrée. **Un outil d'enseignement privilégiant la modélisation**. Bulletin de l'Union des physiciens ISSN 0366-3876. Source / Source

GALAGOVSKY, Lydia; ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Modelos y Analogías en la Enseñanza de las Ciencias Naturales. El Concepto de Modelo Didáctico Analógico. **Enseñanza de las Ciencias**, n. 19 vol.2, 2001.

GIERE, Ronald. **Explaining Science: A Cognitive Approach**. Chicago: University of Chicago, 1988.

GILBERT, John K. Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. **International Journal of Science and Mathematics Education**. Springer Netherlands, v.2, n. 2, 2004.

GILBERT, John. K.; BOULTER, Carolyn. J. **Developing Models in Science Education**. Dordrecht: Kluwer, 2000.

GLASERSFELD, Ernest von. Cognition, construction of Knowledge, and teaching. **Synthese**, vol. 80, 1989.

GLYNN, S. Conceptual bridges. Using analogies to explain scientific concepts. **The Science Teacher**, vol. 62 n. 9, p. 25-27, 1995.

GOBERT, Janice D.; BUCKLEY, Barbara C. Introduction to model-based teaching and learning in science education. **International Journal of Science Education**, London, v. 22, n. 9, p. 891 – 894, 2000.

GOODE, William Josiah; HATT, Paul K. **Métodos em pesquisa social**. 4a ed. (primeira reimpressão). São Paulo: Cia. Ed. Nacional, 1973. 488p.

GRECA, Ileana; SANTOS, Flávia. Dificuldades da Generalização das Estratégias de Modelação em Ciências: o Caso da Física e da Química. In: **Revista eletrônica Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1. Porto Alegre: Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

GREENHALG, Trisha; TAYLOR, Rod. How to Read a Paper: Papers that go beyond Numbers. **British Medical Journal**, vol. 315, p. 740 – 743, 1997.

GÜNTHER, Hartmut. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 22, p. 201-209, 2006.

GURGEL, Ivã; PIETROCOLA, Maurício. **O papel dos modelos no entendimento dos alunos**. In: V ENPEC - Encontro nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2005,

Bauru. **Anais do V ENPEC** - Encontro nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2005. v. 1. p. 1-10.

HARRISON, Allan; TREAGUST, David. Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 Chemistry. **Science Education**, vol. 84, pp. 352-381, 2000.

HENRY, Michel. Notion de modèle et modélisation dans l'enseignement. In : HENRY, M. (Ed.), **Autour de la modélisation en probabilités**. Besançon : Commission Inter- IREM Statistique et Probabilités, 2001.

HESSE, Mary. **Models and analogies in science**. Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1966.

HESSEN, Johannes. **Teoria do conhecimento**. 7ª ed. Coimbra: Armênio Amado, 1979.

HESTENES, David. Toward a modelling theory of physics instruction. **American Journal of Physics**, vol. 55, n. 5, p. 440 – 454, mai. 1987.

HILL, Manuela M.; HILL; Andrew. **A construção de um questionário**. Lisboa : DINÂMIA, 1998.

ISLAS, Stella Maris; PESA, Marta. ¿Qué rol asignan los profesores de física de nivel medio a los modelos científicos y a las actividades de modelado? **Enseñanza de las ciencias**, Barcelona, n. extra, 2003.

JUSTI, Rosária. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v.24, p. 173-184, 2006.

JUSTI, Rosária; Van Driel, Jan. The development of science teacher's knowledge on models and modeling: promoting, characterizing and understanding the process. **International Journal of Science Education**, v. 27, n. 5, p. 549 – 573, 2005.

KNELLER, George F. **A Ciência como Atividade Humana**. Rio de Janeiro: Zahar, 1980.

KOPONEN, Ismo Tapio. Models and modelling in physics education: a critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. **Science & Education**, v. 16, n. 8, p. 751 – 773, ago. 2007.

KRAPAS, Sonia et al. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, 1997.

KRAPAS, Sonia; SANTOS, Paulo A. Modelagem do espalhamento Rayleigh da luz. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, 2002.

LABARRERE, A.; QUINTANILLA, M. **Evaluación de profesores de ciencia en formación y resignificación de los conocimientos profesionales y científicos**. Enseñanza de las Ciencias. Número extra. VII Congreso, 2005.

LARCHER, Claudine. La physique et la chimie, sciences de modèles. Du monde réel aux connaissances scientifiques, en passant par la modélisation. In : **Didactique appliquée de la physique-chimie**. Éditions Nathan, Paris, 1996.

LEHRER, Richard; SCHAUBLE, Leona. A developmental approach for supporting the epistemology of modeling. In: BLUM, Werner et al. **Modelling and applications in mathematics education**. New York: Springer, 2007. p. 153-160.

LEMOS, Nivaldo A. $E=mc^2$: origem e significado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n.1, 2001.

LICHTMAN, Marilyn. **Qualitative Research in Education: a User's Guide**. London: Sage, 2006.

LOPES, J. Bernardino; COSTA, Nilza. The Evaluation of Modelling Competences: Difficulties and potentials for the learning of the sciences. **International Journal of Science Education**, v. 29, n. 7, 2007.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli. E. D. A. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: E. P. U., 1986.

MARCONI, Marina; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa**. São Paulo, 2007.

MARTINAND Jean-Louis. Introduction à la modélisation. In : **Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques** (Cachan 1994-95), 1996, p. 126 - 138.

MARTINAND, Jean-Louis. Enseñanza y aprendizaje de la modelización. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 4, n. 1, 1986.

MATTHEWS, Michael R. Models in science and in science education: an introduction. **Science & Education**, v. 16, n. 7, p. 647 – 652, mai. 2007.

MATTHEWS, Michael R. **Science teaching: the role of history and philosophy of science**. Routledge, New York and London, 1994.

MATTHEWS, Michael. R. Historia, Filosofia e Ensino de Ciências: A Tendência Atual de Reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

MEDEIROS, Alexandre; BEZERRA FILHO, S. J. A Natureza da Ciência e a Instrumentação para o Ensino da Física. **Ciência & educação**, Bauru - S.P., v. 6, p. 107-117, 2000.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias de. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, 2002 .

MORGAN, Mary S.; MORRISON, Margaret. **Models as Mediators**. Cambridge University Press, 1999.

NERSESSIAN, Nancy. Should physicists preach what they practice? Constructive modelling in doing and learning physics. **Science & Education**, vol. 4, 1995, p. 203-226.

NIINILUOTO, Ilkka. **Critical Scientific Realism**. London: Oxford University Press, 2002.

PEREIRA, Júlio César. **Análise de Dados Qualitativos**. São Paulo: Edusp, 1999.

PIAGET, J. & INHELDER, B. **A Psicologia da Criança**. 15^a. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

PIETROCOLA, Maurício. (Org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa abordagem integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PIETROCOLA, Maurício. A Matemática como Estruturante do Conhecimento Físico. **Caderno Brasileiro do Ensino de Física**, v.19, n.1, p.93- 114, abril. 2002.

PIETROCOLA, Maurício. Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre: IFUFRGS, vol. 4, n. 3, 1999

PINHEIRO, Terezinha de Fátima. **Aproximação entre a ciência do aluno na sala de aula da 1ª série do 2º grau e a ciência dos cientistas: uma discussão**. 1996. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação.

PINHEIRO, Terezinha de Fátima. **Sentimento de realidade, afetividade e cognição no ensino de ciências**. Florianópolis, 2003. 245 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação. Programa de Pós-Graduação em Educação.

PINHEIRO, Terezinha de Fátima; PINHO-ALVES, José. O projeto temático como atividade de estágio na prática de ensino. In: XVII Simpósio nacional de Ensino de Física, 2007, São Luis-MA. **Atas do XVII SNEF**, 2007. v. 1. p. 1-9.

PINHO-ALVES, José. Atividade Experimental: uma alternativa na concepção construtivista. In: VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2002, Águas de Lindóia. **Atas do VIII EPEF**. São Paulo: SBF, 2002.

PINHO-ALVES, José. **Licenciatura em Física da UFSC: Análise à luz do referencial de Eisner e Vallance**. 1990. 238 p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PORTIDES, Demetris. The Relation between Idealisation and Approximation in Scientific Model Construction. **Science & Education**, v. 16, n. 8, p. 699 – 724, ago. 2007

REA, Louis; PARKER, Richard. **Metodologia de pesquisa: do planejamento à execução**. São Paulo: Pioneira, 2002.

REZENDE JUNIOR, Mikael Frank. **O processo de conceitualização em situações diferenciadas na formação inicial de professores de Física**. 2006. 288 p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 3.ed. São Paulo Atlas: 1999

ROBERT, André; BOUILLAGUET, Annick. **L'Analyse de Contenu** (2ième edition). Paris: PUF, 1997.

RODRIGUEZ, Ruth. **Les équations différentielles comme outil de modélisation mathématique en Classe de Physique et de Mathématiques au lycée : une étude de manuels et de processus de modélisation d'élèves en Terminale S**. 500 p. Tese (Doutorado em Ecole doctorale de Mathématiques et Informatique- Sciences de Technologies de l'Information) – Université Joseph Fourier – Grenoble I, 2008.

SAGLAM, Ayse. **Les Équations Différentielles en Mathématiques et en Physique: Étude des Conditions de leur Enseignement et Caractérisation des Rapports Personnels des Étudiants de Première Année d'Université à cet Objet de Savoir**. 264 p. Tese (Doutorado em Ecole doctorale de Mathématiques et Informatique- Sciences de Technologies de l'Information) – Université Joseph Fourier – Grenoble I, 2004.

SCHAFF, Adam. **História e Verdade**. São Paulo: Martins Fontes, 1983.

SILVA, Marise; SCHAPPO, Vera Lúcia. **Introdução à Pesquisa em Educação**. Florianópolis: UDESC, 2001.

SUÁREZ, Mauricio. The role of models in the application of scientific theories: epistemological implications. In: MORGAN, Mary S.; MORRISON, Margaret. **Models as Mediators**. Cambridge University Press, 1999. p. 168 – 196.

SUPPE, Frederick. **The Structure of Scientific Theories**. Urbana: University of Illinois Press, 1977.

SUPPES, Patrick. Models of Data. In: NAGEL, Ernest; SUPPES, Patrick; TARSKI, Alfred. **Logic, Methodology and Philosophy of Science: Proceedings of the International Congress**. Stanford: Stanford University Press, 1962.

TRIVIÑOS, Augusto N. S. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais**. São Paulo: Atlas, 1987.

VAN FRAASSEN, Bas. **The Scientific Image**. Oxford: Clarendon Press, 1980.

VERGNAUD, Gerard. **A Teoria dos Campos Conceituais**. In: BRUN, Jean. Didáctica das Matemáticas. Instituto Piaget: Lisboa, 1996.

VIAU Javier et al. Aprendizaje de los conceptos de masa, peso y gravedad. Investigación de la efectividad de un modelo analógico. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, 4(2), 272-286, 2007.

VIAU, Javier E. et al. El modelado en la educación científica, su relevancia en la formación de profesores. In: **I Jornadas Nacionales de Investigación Educativa: las perspectivas, los sujetos y los contextos en Investigación Educativa**, Mendoza, 2007.

VILLANI, Alberto. Considerações sobre a pesquisa em Ensino de Ciência: II. Seu significado, seus problemas e suas perspectivas. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 4, p. 125 – 150, dez. 1982.

WESTPHAL, Murilo. **A Formação Pedagógica no curso de Licenciatura em Física da UFSC e a Prática docente dos Egressos deste curso**. 2006. 246f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Centro de Ciência da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

WESTPHAL, Murilo; PINHEIRO, Thais. C. A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o Ensino de Ciências. **Ciência & educação**, Bauru - S.P., v. 10, n. 3, p. 585-596, 2004.

ZAMORANO, Raúl et al. Formación de profesores: Estrategias de modelado didáctico en la Enseñanza de las Ciencias Experimentales. **Revista Electrónica de la red de Investigación Educativa**, v.1, n.4, p.1 - 12, 2006.

ZAMORANO, Raúl et al. Formación de profesores: estrategias de modelado didáctico en la enseñanza de las ciencias experimentales. Revista ieRed: **Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa**. v.1, n.4, 2006.

ZIMERMANN, Erika; BERTANI, Januária. Um novo olhar sobre os cursos de formação de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.20, n.1: 43-62, 2003.

ANEXOS

ANEXO I
PLANO DE ENSINO DA DISCIPLINA “INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA B” – FSC 5118

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
 CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
 DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Disciplina: **INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA B (FSC – 5118)**

Pré-Requisito: **FSC-5194; FSC 5117 E MEN 5132.**

Horário: **Turmas A e B : 218302/420202**

Professores: **Sonia Souza Cruz (sonia@fsc.ufsc.br)**

Jose de Pinho Alves Filho (jopinho@fsc.ufsc.br)

PROPOSTA DE CRONOGRAMA 2007-2

ME S	DIA	SEM	PROGRAMAÇÃO	ATIVIDADE
	06	S	Apresentação da disciplina	
A	08	Q	Projetos inovadores de Ensino de Física	Exposição + Discussão
G	13	S	Laboratório didático I	Exposição+ Discussão
O	15	Q	Laboratório didático II	Exposição+ Discussão
S	20	S	Projeto temático I - Fundamentos	Exposição+ Discussão
T	22	Q	Alfabetização Científica: CTS	Exposição+ Discussão
O	27	S	Alfabetização Científica: CTS	Exposição+ Discussão
	29	Q	Alfabetização Científica: ACT	Exposição+ Discussão
	03	S	Alfabetização Científica: ACT	Exposição+ Discussão
S	05	Q	Projeto temático II – Elementos do projeto	Exposição+ Discussão
E	10	S	Projeto temático – Organização/caixas pretas PROVA 1	Trabalho em grupo (sala)
T	12	Q	Projeto temático - Organização/caixas pretas	Trabalho em grupo (sala)
E	17	S	SEMINÁRIO 1 – Organização do conteúdo	Todos os grupos
M	19	Q	Projeto temático – Transposição Didática	Trabalho em grupo (sala)
B	24	S	Projeto temático – Transposição Didática	Trabalho em grupo (sala)
	26	Q	Projeto temático – Transposição Didática	Trabalho em grupo (sala)
	01	S	Projeto temático – Transposição Didática	Trabalho em grupo (sala)
O	03	Q	Projeto temático – Transposição Didática	Trabalho em grupo (sala)
U	08	S	SEMINÁRIO 2 – Transposição Didática	Grupos (X + Y)
T	10	Q	SEMINÁRIO 2 – Transposição Didática	Grupos (J + K)
U	15	S	SEMINÁRIO 2 – Transposição Didática	Grupos (L + M)
B	17	Q	Projeto temático – Modelização	Trabalho em grupo (sala)
R	22	S	Projeto temático – Modelização	Trabalho em grupo (sala)
O	24	Q	SEMINÁRIO 3 – Modelização	Grupos (X' + Y')
	29	S	SEMINÁRIO 3 – Modelização	Grupos (Z' + K')
	31	Q	SEMINÁRIO 3 – Modelização	Grupos (L' + M')
	05	S	PROVA 2	
	07	Q	Projeto temático – preparação apresentação	

	12	S	<i>Apresentação do projeto temático</i>	Grupo A
	14	Q	<i>Apresentação do projeto temático</i>	Grupo B
	19	S	<i>Apresentação do projeto temático</i>	Grupo C
	21	Q	<i>Apresentação do projeto temático</i>	Grupo D
	26	S	Aulas suspensas - ENPEC	
	28	Q	Aulas suspensas - ENPEC	
	03	S	<i>Apresentação do projeto temático</i>	Grupo E
	05	Q	Entrega da nota final	
	10		RECUPERAÇÃO	
	11		PUBLICAÇÃO DAS NOTAS	

Bibliografia

CADERNO CATARINENSE DE ENSINO DE FÍSICA - Departamento de Física/UFSC.

Editora da UFSC, Florianópolis.

GRAF - Textos de mecânica, termologia e eletromagnetismo. Editora da USP, São Paulo, 1993.

REVISTA DE ENSINO DE FÍSICA - Sociedade Brasileira de Física.

DELIZOICOV, D & ANGOTTI, J.A *Física*. Ed. Cortez, 1991.

Astolfi, J. P. & Develay, M., J. 1995 - *A didática das ciências*, editora Papyrus, Campinas, 1995

Pietrocola M. (Org.) *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Ed. UFSC. 2002.

Projetos de Ensino:

PSSC

HARVARD

PILOTO

FAI

PEF

PBEF

Livros do Ensino Médio

Periódicos indicados.

Artigos indicados.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Disciplina: **INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA B (FSC – 5118)**

Professores: **Sonia Souza Cruz** (sonia@fsc.ufsc.br)

Jose de Pinho Alves Filho (jopinho@fsc.ufsc.br)

PLANO DE ENSINO

1. PROJETO TEMÁTICO

Os alunos deverão se dividir em grupos com **TRÊS alunos** (média) cada. Esta divisão se faz necessária para as atividades previstas para **Instrumentação C**.

Cada grupo **sorteará** um projeto temático que será composto de material instrucional para o aluno e para o professor, contemplando o **conteúdo, exercícios, atividades experimentais, proposta de avaliações e demais formas ou processos instrucionais que se fizerem adequados**. O material produzido deve ser o mais detalhado possível, isto é, deverá possibilitar que qualquer pessoa em qualquer lugar possa aplicar o projeto sem maiores esclarecimentos dos autores. Em suma: deve ser o mais auto-suficiente possível nas informações referentes às metodologias, ao processo de aplicação e, logicamente, ao conteúdo proposto.

Atividades experimentais **deverão necessariamente fazer parte** do projeto temático.

A versão final do projeto temático deverá ser entregue em cópia papel e disquete ou CD na data prevista – sem prorrogação de prazo – juntamente com o conjunto experimental e demais equipamentos que fizerem parte do projeto.

O Projeto Temático deverá ser programado para 08 aulas de 45 minutos.

Cada grupo apresentará 3 (TRÊS) seminários mais a **Apresentação do Projeto Final**. A contribuição de cada um dos seminários fornecerá substrato para o projeto final.

Em cada seminário deverá ser **feito um resumo e entregue no início do mesmo**.

Os seminários seguirão o cronograma proposto e a ordem será sorteada com antecedência e versarão sobre:

Seminário 1 – Organização do conteúdo – O grupo terá **10 minutos** para apresentar o tema sorteado e a seqüência de conteúdo (detalhado) que será abordado e **10 minutos** serão dedicados à argüição feita pelo grande grupo. No resumo deste seminário deverá **constar a bibliografia** (livros, sites, revistas, artigos, etc.) **comentada** que será utilizada no projeto. Ao longo do trabalho outras fontes de consulta poderão/deverão ser inseridas para consulta.

Seminário 2- Transposição Didática – apresentação do conteúdo após o processo de Transposição Didática realizada pelos proponentes em conjunto com a(s) metodologia(s) de ensino que será(ão) adotada(s) e os diferentes recursos instrucionais. Adequação das metodologias a seqüência didática proposta explicitando os diferentes momentos didáticos (cronograma detalhado das aulas). O período de apresentação será de **30 minutos com 20 minutos de discussão**.

Seminário 3 – Modelização – o objetivo é apresentar as modelizações elaboradas para os diferentes conceitos discutidos e que farão parte do projeto. **O tempo será de 30 min com 20 min de discussão**.

Seminário 4 - Apresentação do projeto – Cada grupo terá um período de 60 minutos para dar uma panorâmica geral do projeto **PRONTO**. Deverá ser apresentado o cronograma detalhado das aulas, atividades experimentais, recursos didáticos (filmes, textos...etc) e aplicações do cotidiano.

2. AVALIAÇÃO

A avaliação final da disciplina será realizada por notas divididas em cinco grandes blocos:

Projeto temático. (fase de preparação) (peso 2,0)

Uma ficha de avaliação (modelo em anexo) individual registrará notas atribuídas aos diferentes quesitos que serão avaliados em cada seminário do grupo.

Projeto temático (projeto final) (peso 3,0)

Uma ficha de avaliação registrará notas atribuídas aos diferentes quesitos que serão avaliados do projeto final. (esta ficha será fornecida ao longo do semestre)

Participação. (peso 1,0) Contará a participação e o empenho individual ao longo das atividades da disciplina.

Provas (Peso 4,0)

Prova 1 – (peso 2) - será objeto de avaliação os conteúdos: Laboratório Didático, CTS e ACT.

Prova 2 - (peso 2) - será objeto de avaliação **os conteúdos e a estrutura de todos** os projetos temáticos (metodologia, seqüência, experimentos, avaliação etc.) desenvolvidas na disciplina no presente semestre.

A aprovação será concedida ao aluno que apresentar média final igual ou superior a 6,0 (seis vg zero)

A recuperação será concedida ao aluno que tiver média final entre 3,0 e 5,5

DISTRIBUIÇÃO GRUPOS-PROJETOS

GRUPO	PROJETO TEMÁTICO	COMPONENTES			
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Profª. Sonia Maria Souza Cruz
Prof. Jose de Pinho Alves Filho
Setembro, 2006.

ELEMENTOS QUE DEVEM SER CONTEMPLADOS NO PROJETO TEMÁTICO

PARTE 1 - APRESENTAÇÃO

Pré-requisitos : se necessários e quais.

Série escolar sugestão: qual a série mais adequada para a aplicação do projeto

Condições de aplicabilidade: quais as condições mínimas da escola, turma etc

Introdução/Justificativa: Sobre a pertinência do curso para os alunos em questão, do ponto de vista da metodologia e do conteúdo físico.

Objetivo Geral: o que se pretende que os alunos adquiram ao final deste curso em termos de **alfabetização científica**.

Público Alvo: idade, nível de formação etc.

Conteúdo físico: aquele a ser abordado no projeto.

Temática de interesse: sobre a relação deste projeto com a vida das pessoas a que se destina.

Quadro sintético: aula por aula, com divisão dos momentos das aulas, breves comentários e divisão do tempo.

PARTE 2 – SEQUENCIA DIDÁTICA

Descrição de cada aula:

Tema da aula

Objetivos específicos

Conteúdo físico

Recursos instrucionais

Metodologia de ensino (IMPORTANTÍSSIMO): **Momentos da aula com as devidas problematizações, modelizações, aplicações e atividades experimentais (detalhamento)**

Comentários finais/fechamento da aula.

Justificativas: Cada aula deverá apresentar necessariamente:

Explicitar as concepções alternativas que serão tratadas naquela aula e o modo como serão tratados didaticamente.

Explicitar os elementos de História da Ciência que poderão ser desenvolvidos na aula.

Explicitar o Contrato Didático a ser utilizado.

Explicitar o processo de modelização dos conceitos (teórico ou experimental)

Justificar a AE escolhida e qual a categoria que se enquadra

Estas justificativas farão parte do texto dirigido ao Professor e devem ser em uma linguagem mais acadêmica.

Anexos: Textos, experiências, atividades etc

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
 CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
 DEPARTAMENTO DE FÍSICA
INSTRUMENTAÇÃO PRA O ENSINO DE FÍSICA – B (FSC-5118)

PROJETO TEMÁTICO

Ficha de avaliação dos seminários

TEMA SORTEADO: _____

GRUPO/Alunos: _____ / _____ / _____ / _____

	1. Apresentação do Conteúdo	2. Apresentação TD	3. Apresentação Modelização	4. Apresentação Projeto	COMENTÁRIOS
EXPOSITOR					
RESUMO					
Domínio de conteúdo					
Justificativa do apresentado					
Comunicação					
Criatividade apresentação					
Domínio da Escrita					
PROJETO					
MEDIA DA ATIVIDADE					
MÉDIA FINAL:					

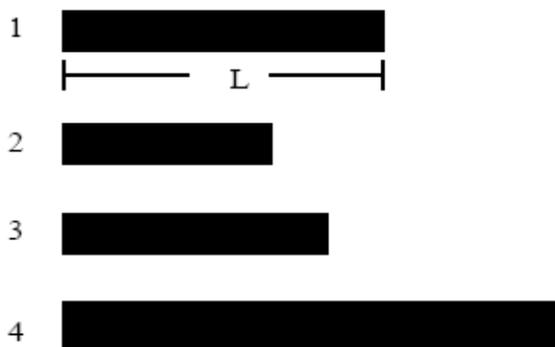
ANEXO II
EXEMPLARES DE ATIVIDADES DE MODELIZAÇÃO – EXTRAÍDOS DA
UNIDADE DE ENSINO “INICIAÇÃO A CIÊNCIAS”, DE PINHEIRO (2006)

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 :

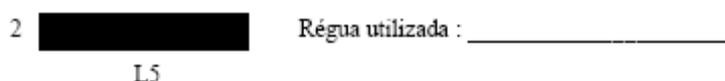
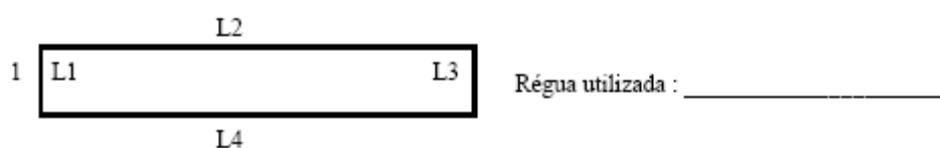
- a) Qual das régua fornece maior precisão nas medidas? Por que ?
- b) Todos os algarismos que você escreveu são significativos ?
- c) Escreva o que você entende por algarismos significativos de uma medida.

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 réguas 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)?

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 $h \times N$.
- 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 $d(\text{cm})$	comprimento $C(\text{cm})$

ANÁLISE DOS DADOS :

- Construir o gráfico $C \times d$.
- 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 :

ANEXO III
QUESTIONÁRIO ENCAMINHADO AOS LICENCIANDOS E ALUNOS EGRESSOS

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Nome da pesquisa: A Construção de Projetos Temáticos na Licenciatura em Física

Mestranda: Juliana Machado

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sônia Maria da S. C. de Souza Cruz

Prezado(a) Licenciado(a),

A presente consulta tem como finalidade obter algumas informações a respeito da sua experiência nas disciplinas “Instrumentação para o Ensino de Física”, do curso de Licenciatura em Física na UFSC. Estas informações serão utilizadas em um trabalho de dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT-UFSC). O objetivo desta pesquisa é caracterizar e avaliar o papel das referidas disciplinas na formação de professores de Física nesta Instituição. Os licenciados consultados têm liberdade de recusar a participar, de não responder a alguma pergunta e de retirar seu consentimento, a qualquer momento, bastando entrar em contato com a pesquisadora pelo endereço eletrônico julianam@ced.ufsc.br até abril de 2009, data para a qual está prevista a redação final deste trabalho.

Nós, pesquisadores, asseguramos total sigilo quanto à identidade dos respondentes da pesquisa.

Agradecemos por sua contribuição.

Assinatura da pesquisadora responsável

Eu, _____, RG _____, abaixo assinado, estou ciente de que faço parte de uma amostra de pesquisa sobre as disciplinas “Instrumentação para o Ensino de Física”. Contribuirei com dados através de um questionário. Declaro estar ciente: a) do objetivo da pesquisa; b) da segurança de que não serei identificado(a) na pesquisa e c) de ter a liberdade de recusar a participar da pesquisa.

Florianópolis, _____ de _____ de 200__.

Assinatura do responsável pelas informações

Parte 1. Sobre a elaboração do seu Projeto Temático

Gostaríamos de conhecer mais sobre sua experiência na confecção do Projeto Temático na disciplina “Instrumentação para o Ensino de Física B”. Para isso, solicitamos que indique seu grau de concordância em relação a algumas afirmações sobre como você avalia esta atividade, listadas abaixo. Por favor, assinale, em cada caso, a opção correspondente.

1. A atividade de construção do Projeto Temático pode ser definida como um trabalho de organizar, didaticamente, conceitos e definições de Física previamente determinados, utilizando um tema para contextualizar esses conceitos.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

2. Participar da elaboração do Projeto Temático fez com que eu percebesse novos significados ou inter-relações entre conceitos de Física.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

3. Ter participado desta atividade teve algum impacto na maneira como entendo o conhecimento físico, seu caráter, suas finalidades e o significado de validação das teorias físicas.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

4. Participar da elaboração do Projeto Temático fez com que eu adquirisse maior discernimento para realizar escolhas sobre “o quê ensinar” e “para que ensinar”.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

5. Considero o Projeto Temático que ajudei a construir como produto de uma nova Transposição Didática.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

6. Essa atividade não produziu modificações consideráveis na minha compreensão de Física.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

7. Utilizo, na minha atividade de professor, alguma forma de pensar que desenvolvi durante a confecção do Projeto Temático.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

8. Os meus conhecimentos de Física adquiridos nas disciplinas cursadas em semestres anteriores foram suficientes para a construção do meu Projeto Temático.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

9. Ao elaborar meu Projeto Temático, desenvolvi uma Modelização do(s) fenômeno(s) físico(s) envolvido(s) no Tema.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

Parte 2. Sobre a metodologia da atividade

Nesta seção, gostaríamos de consultá-lo a respeito de sua avaliação sobre a metodologia empregada na disciplina de “Instrumentação para o Ensino de Física B” e sobre a evolução temporal de seu trabalho nesta atividade. Novamente, solicitamos a gentileza de indicar seu grau de concordância como cada uma das afirmativas abaixo relacionadas:

1. O grau de orientação e acompanhamento por parte dos professores da disciplina, durante a confecção do Projeto Temático, foi adequado.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

2. Os seminários apresentados pelos grupos de alunos foram pouco reveladores do progresso no desenvolvimento do Projeto Temático.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

3. Caso fosse aplicar, hoje, o Projeto então construído, faria muitas modificações.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

4. Os momentos de arguição com os professores e colegas, que se seguiam às apresentações dos Seminários, tiveram um grande impacto no processo de construção do Projeto Temático.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

5. Os critérios para escolher a profundidade e a extensão com que trataria o Tema só ficaram claros na hora de organizar as Modelizações.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

6. A apresentação de seminários foi uma metodologia eficaz para que os professores da disciplina compreendessem o que estava sendo produzido, em cada etapa, no Projeto Temático.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

7. O intervalo de tempo de um semestre letivo era demasiado curto para a confecção do Projeto Temático.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

8. Considero ter alcançado os objetivos propostos para a atividade de confecção de um Projeto Temático na disciplina INSPE B.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

9. Os subsídios teóricos ministrados anteriormente (na disciplina INSPE A) sobre a Modelização foram adequados e suficientes para fornecer o embasamento necessário à construção de novas Modelizações no Projeto Temático.

Concordo totalmente	<input type="checkbox"/>	Concordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Indeciso	<input type="checkbox"/>	Discordo parcialmente	<input type="checkbox"/>	Discordo totalmente	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

Parte 3. Sobre suas dificuldades na elaboração do Projeto Temático

Em sua experiência nesta atividade, em quais tarefas encontrou maiores dificuldades? Atribua valores de 1 a 8 para cada alternativa, em ordem decrescente de dificuldade (1 para maior dificuldade e 8 para menor dificuldade)

<input type="checkbox"/>	Encontrar fontes de pesquisa sobre o Tema
<input type="checkbox"/>	Selecionar os conteúdos que seriam tratados
<input type="checkbox"/>	Compreender os conteúdos específicos de Física relacionados ao Tema
<input type="checkbox"/>	Definir a profundidade e extensão com a qual trataria esses conteúdos
<input type="checkbox"/>	Desenvolver novas Modelizações
<input type="checkbox"/>	Elaborar o planejamento das aulas
<input type="checkbox"/>	Preparar atividades experimentais
<input type="checkbox"/>	Transpor os conceitos para o Ensino Médio

Parte 4. Sobre o conceito de Modelo

Gostaríamos de conhecer mais sobre o significado que você atribui ao conceito de “Modelo”, no contexto da Física. Abaixo estão relacionadas algumas definições possíveis para este conceito. Algumas destas poderão ser consideradas por você como compatíveis ou complementares, mas ordenadas segundo o grau de adequação. Por favor, indique quais das alternativas abaixo você considera mais adequadas ao conceito de Modelo, atribuindo valores de 1 a 6 em ordem decrescente de adequação (1 para a mais adequada e 6 para a menos adequada).

<input type="checkbox"/>	Um conjunto de hipóteses simplificadoras sobre as propriedades do objeto estudado, que busca descrever de forma aproximada este objeto.
<input type="checkbox"/>	Um conjunto de equações matemáticas que descrevem o mais completamente possível o objeto estudado.
<input type="checkbox"/>	Uma representação esquemática concreta, manipulável, tridimensional, como uma maquete.
<input type="checkbox"/>	Uma teoria ou conjunto de teorias ou enunciados que se refere diretamente a um objeto real e que busca, desde sua formação inicial, apreender toda a complexidade do objeto estudado.
<input type="checkbox"/>	Uma teoria ou conjunto de teorias ou enunciados que se referem a um objeto idealizado.
<input type="checkbox"/>	Uma representação de um sistema ou objeto que é feita por meio de uma analogia ou metáfora com outro objeto, que seja já conhecido ou mais familiar.

Ano/semestre em que cursou a disciplina INSPE B: _____

Tema do Projeto que construiu em INSPE B: _____

Leciona atualmente? () sim () não

Tempo de magistério: _____

Ano de ingresso no curso de Licenciatura em Física: _____

Ano de conclusão do curso: _____

Nome do respondente (não será divulgado): _____