

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE FÍSICA**

**INVESTIGANDO A APRENDIZAGEM DO CAMPO CONCEITUAL ASSOCIADO À
MODELAGEM CIENTÍFICA POR PARTE DE PROFESSORES DE FÍSICA DO
ENSINO MÉDIO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RAFAEL VASQUES BRANDÃO

Porto Alegre

2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE FÍSICA**

**INVESTIGANDO A APRENDIZAGEM DO CAMPO CONCEITUAL ASSOCIADO À
MODELAGEM CIENTÍFICA POR PARTE DE PROFESSORES DE FÍSICA DO
ENSINO MÉDIO**

RAFAEL VASQUES BRANDÃO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física, Curso de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Prof. Dr. Ives Solano Araújo e co-orientação da Prof^a Dr^a Eliane Angela Veit.

Porto Alegre

2008

AGRADECIMENTO

Agradeço a ajuda prestimosa dos meus orientadores, Ives e Eliane, pela paciência e atenção com que sempre me acolheram;

Agradeço a meus professores que sempre souberam me encaminhar nos estudos.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar a aprendizagem por parte de professores de Física do ensino médio de conceitos específicos ao campo conceitual associado à modelagem científica, tais como: idealizações, aproximações, domínio de validade, expansão e generalização de modelos. O referencial teórico adotado para a realização deste estudo está baseado na teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud e na visão epistemológica de Mario Bunge no que concerne aos modelos e ao progresso do conhecimento científico. Nesse sentido, elaboramos uma estratégia didática de modo a introduzir noções epistemológicas contemporâneas, imbricadas com conteúdos de Física, implementada na forma de um curso a distância de 40 horas, utilizando um ambiente virtual de aprendizagem. Inicialmente, vinte professores matricularam-se no curso, mas somente oito o concluíram. Houve dois encontros presenciais, um no início e o outro ao final do curso, um encontro virtual por semana e inúmeras interações em sessões assíncronas (fóruns e *emails*). Diversas das tarefas propostas aos professores envolveram situações-problema nas quais os conceitos associados à modelagem científica foram trabalhados através de atividades exploratórias de simulação computacional. Os resultados indicam que a abordagem utilizada favoreceu a aprendizagem conceitual do processo de modelagem científica por parte dos professores, motivando-os a ensinar Física aos seus estudantes levando em consideração os conceitos e o papel da modelagem no contexto da Ciência.

ABSTRACT

The purpose of this work was to investigate high school teachers learning about key concepts of scientific modeling such as idealizations, approximations, context validity, generalizations and expansions of models. The theoretical framework adopted was based on Gérard Vergnaud's conceptual fields' theory and on Mario Bunge's epistemological viewpoint concerning scientific models and science development. We designed a didactical approach to introduce contemporary epistemological ideas imbricated with traditional high school physics subjects in a 40-hour distance learning course using a virtual environment. Initially, twenty high school teachers were enrolled in the course, but just eight of them finished it. There have been two face-to-face meetings, at the beginning and at the end of the course, a synchronous meeting per week and several asynchronous interactions (forum and emails). The tasks presented to the teachers involved problem-situations in which the key concepts of scientific modeling could be worked through exploratory computational activities. The results indicate that this approach fostered a conceptual understanding of the scientific modeling process by the teachers, motivating them to teach physics to their students taking into account the concept and role of modeling in science.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mapa conceitual referente ao campo conceitual associado à modelagem científica.....	11
FIGURA 2 – À esquerda, uma classe de n objetos (diferentes) sendo representada por apenas um modelo conceitual m ; à direita, um único objeto concreto sendo representado por um conjunto de n modelos conceituais.....	27
FIGURA 3 - À esquerda, um modelo conceitual m inserido em quatro teorias gerais (Tg_1, Tg_2, Tg_3, Tg_4) resultando em quatro teorias específicas ou modelos teóricos (Ts_1, Ts_2, Ts_3, Ts_4); à direita, quatro modelos conceituais (m_1, m_2, m_3, m_4) inseridos na mesma teoria geral Tg resultando em três teorias específicas (Ts_1, Ts_2, Ts_3). O número inicial de teorias gerais (à esquerda) e de modelos conceituais (à direita) é meramente ilustrativo. Além disso, nem todo modelo conceitual rende bons resultados ao ser inserido numa teoria geral.....	29
FIGURA 4 – Tela ilustrativa de abertura do ambiente TelEduc.....	40
FIGURA 5 – Tela ilustrativa da ferramenta <i>Macromedia Breeze Meeting Server</i>	41
FIGURA 6 – Tela ilustrativa do <i>software</i> Tracker sendo trabalhado dentro do MBMS....	47
FIGURA B.1 – Tela ilustrativa da simulação computacional referente à Tarefa 5.....	147
FIGURA B.2 – Tela ilustrativa da simulação computacional referente à Tarefa 6.....	148
FIGURA B.3 – Tela ilustrativa da simulação computacional <i>Rutherford Scattering</i> referente à Tarefa 10.....	153
FIGURA B.4 – Tela ilustrativa da simulação computacional <i>Models of the Hydrogen Atom</i> referente à Tarefa 10.....	153

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Exemplos de situações modeladas em Física.....	26
TABELA 2 – Uma visão geral do curso a distância.....	43
TABELA 3 – Respostas do Aluno 1 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.....	52
TABELA 4 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 1.....	53
TABELA 5 – Fragmentos de repostas do Aluno 1.....	59
TABELA 6 – Respostas do Aluno 2 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.....	62
TABELA 7 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 2.....	65
TABELA 8 – Fragmentos de repostas do Aluno 2.....	70
TABELA 9 – Respostas do Aluno 3 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.....	73
TABELA 10 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 3.....	74
TABELA 11 – Fragmentos de repostas do Aluno 3.....	77
TABELA 12 – Respostas do Aluno 4 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.....	81
TABELA 13 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 4.....	83
TABELA 14 – Fragmentos de repostas do Aluno 4.....	86
TABELA 15 – Respostas do Aluno 5 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.....	90
TABELA 16 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 5.....	92
TABELA 17 – Fragmentos de repostas do Aluno 5.....	97
TABELA 18 – Respostas do Aluno 6 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.....	101
TABELA 19 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 6.....	102
TABELA 20 – Fragmentos de repostas do Aluno 6.....	106
TABELA 21 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 7.....	110
TABELA 22 – Fragmentos de repostas do Aluno 7.....	114
TABELA 23 – Respostas do Aluno 8 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.....	118
TABELA 24 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 8.....	120
TABELA 25 – Fragmentos de repostas do Aluno 8.....	125
TABELA 26 – Síntese das concepções dos professores de Física sobre o papel e a natureza dos modelos científicos no Questionário Inicial.....	128
TABELA 27 – Síntese das concepções dos professores de Física sobre o papel e a natureza dos modelos científicos durante as duas primeiras semanas do curso a distância.....	129
TABELA 28 – Síntese das concepções dos professores de Física sobre o papel e a natureza dos modelos científicos ao final do curso a distância.....	130
TABELA 29 – Síntese das concepções dos professores de Física sobre os conceitos envolvidos na modelagem de fenômenos físicos durante o curso a distância.....	131
TABELA D.1 – Participação dos alunos no Fórum de discussão 1.....	184
TABELA D.2 – Participação dos alunos no Fórum de discussão 2.....	185
TABELA D.3 – Participação dos alunos no Fórum de discussão 3.....	187
TABELA D.4 – Participação dos alunos no Fórum de discussão 4.....	189
TABELA D.5 – Participação dos alunos no Fórum de discussão 5.....	194
TABELA D.6 – Participação dos alunos no Fórum de discussão de temas livres.....	198

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1 QUANTO AOS MODELOS E AO PROCESSO DE MODELAGEM NA PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS.....	13
2.2 QUANTO ÀS IMPLICAÇÕES DA EPISTEMOLOGIA DE MARIO BUNGE PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS.....	18
2.3 QUANTO ÀS TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS APLICADAS AO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
3.1 A VISÃO EPISTEMOLÓGICA DE MARIO BUNGE.....	22
3.2 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE GÉRARD VERGNAUD.....	31
4 OBJETO DE ESTUDO E METODOLOGIA.....	36
4.1 OBJETO DE ESTUDO.....	36
4.2 METODOLOGIA.....	36
4.2.1 Enfoque metodológico de pesquisa.....	36
4.2.2 Participantes.....	38
4.2.3 Proposta didática.....	39
4.2.4 Instrumentos para coleta e análise dos dados.....	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS.....	51
5.2 SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	128
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	134
REFERÊNCIAS.....	138
APÊNDICE A.....	141
APÊNDICE B.....	142
APÊNDICE C.....	156
APÊNDICE D.....	184
APÊNDICE E.....	204

1 INTRODUÇÃO

O modo como as Ciências em geral e a Física em particular vêm sendo abordadas no ensino médio, isto é, compartimentando-se o conteúdo em uma seqüência que vai do específico para o geral e apresentando-o como “cópia” da realidade, transmite, muitas vezes, a noção de que conhecimento científico é sinônimo de verdade definitiva e perene (lei). Esta “verdade” chega aos iniciantes (futuros cientistas e professores) quase como revelações divinas (descobertas) após os sacrifícios (árido trabalho de observação e experimentação) no templo (laboratório). Conseqüentemente, o conhecimento científico não é visto como uma construção humana e tampouco se entende como esse conhecimento está estruturado. Além disso, uma parcela considerável de livros de texto enfatiza a existência de um único método para se fazer ciência – o método científico – e fica-se com a impressão de descobertas seqüenciais organizadas cronologicamente.

Mesmo no ensino superior, ainda que implicitamente, estas noções são freqüentemente reforçadas e, como os professores tendem a ensinar da maneira como foram ensinados, essa passa a ser a visão prototípica da práxis científica no ensino médio.

Adicionalmente, o modo excessivamente formal como o conteúdo das disciplinas científicas vem sendo trabalhado no ensino médio exige um conjunto de regras e esquemas de raciocínio por parte dos estudantes que permanece restrito ao contexto escolar. Este fato tem resultado, cada vez mais, num distanciamento entre o ensino de Ciências e a realidade experienciada pelos estudantes, chegando a gerar posturas disparatadas, como a apontada por Mazur (1997, p. 4), nas palavras de um de seus alunos: “Professor Mazur, como eu devo responder estas questões? De acordo com o que você nos ensinou, ou da forma que eu penso sobre estas coisas?” Esta passagem evidencia um obstáculo a ser superado no ensino de Ciências em geral e da Física em particular: a descontinuidade entre as visões de mundo que insistem em coabitar a mente dos estudantes. Uma sendo formada por concepções científicas que parecem ter pouco a ver com a realidade e a outra que, embora constituída de concepções alternativas, fornece explicações para muitas situações do dia-a-dia.

O desafio que se impõe a nós educadores está em reduzir o papel desempenhado pelas concepções alternativas em favor das científicas. Nesse sentido, torna-se necessário redirecionar o objetivo do ensino de Ciências para a reconstrução conceitual da realidade, em

outros termos, estabelecer conexões entre o mundo cotidiano (concreto) e o mundo físico (abstrato) que permitam aos estudantes adquirir intimidade com a realidade existente conhecendo um outro nível de realidade, definida como realidade física (PIETROCOLA, 2001).

Como tentativa de reversão desse quadro, segundo Moreira (2004a), a pesquisa em ensino de Física desenvolveu-se do seguinte modo: nos anos 50 e 60, com os grandes projetos curriculares (PSSC, Harvard e Nuffield, para citar alguns); nos anos 70, com estudos sobre concepções alternativas; nos anos 80, com estudos sobre mudança conceitual; nos anos 90, com estudos sobre representações mentais; e nos últimos anos, com estudos relacionados com o professor de Ciências e estudos microetnográficos.

Dentre estes estudos mais recentes, tem-se visto que estratégias didáticas baseadas na noção e uso de modelos científicos surgem como alternativas para a inserção de conteúdos de natureza epistemológica que, imbricados com conteúdos específicos, propiciam aos estudantes e professores uma visão mais holística sobre a natureza e a construção do conhecimento científico (CUPANI e PIETROCOLA, 2002; GIÉRE et al., 2006; HALLOUN, 2004; ISLAS e PESA, 2001; JUSTI e GILBERT, 2000; LOMBARDI, 1997).

É nesse contexto que se insere o presente trabalho de pesquisa. Tendo em vista os possíveis reflexos que uma real compreensão da modelagem pode aportar aos procedimentos didáticos adotados pelos professores e que as dificuldades conceituais inerentes a este processo não são superadas durante a formação inicial, elaborou-se uma estratégia didática, implementada na forma de um curso a distância, com o objetivo de favorecer a aprendizagem do campo conceitual associado à modelagem de fenômenos físicos por parte de professores de Física do ensino médio.

Subsidiando todo esse trabalho, quer na estrutura e apresentação do conteúdo, quer no tipo de tarefa proposta aos alunos, está a visão epistemológica de Mario Bunge no que tange à construção do conhecimento científico através do processo de teorização da realidade. Este processo tem como objetivo a apreensão conceitual da realidade e inicia com as idealizações que fazemos de objetos ou fatos reais, ou supostos como tais. Nesse sentido, os modelos científicos desempenham um papel fundamental na construção do conhecimento pela Ciência. Bunge chega a definir o cientista como “um animal construtor e testador de modelos”

(BUNGE, 1974, p. 40). De modo a progredirem no campo conceitual associado à modelagem científica é fundamental que os professores de Física dominem um conjunto de situações e problemas que requerem, por sua vez, o domínio de conceitos específicos e de natureza distinta, porém inseparáveis da noção e do uso de modelos científicos, tais como: idealização, aproximação, referente, variável, parâmetro, domínio de validade, grau de precisão, expansão e generalização. A Figura 1 ilustra de forma esquemática alguns conceitos, e suas relações, que compõem o que entendemos por campo conceitual associado à modelagem científica.

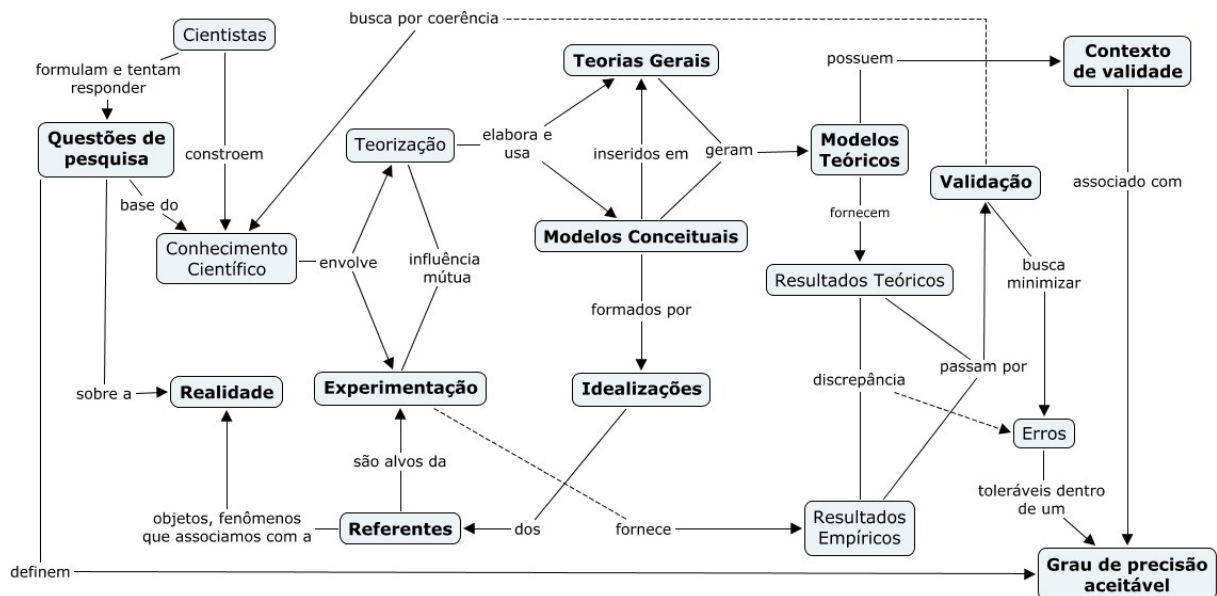


Figura 1 – Mapa conceitual referente ao campo conceitual associado à modelagem científica.

Na parte superior à esquerda do mapa conceitual, vê-se que a modelagem científica é, antes de tudo, um processo de busca por respostas. Assim, os cientistas produzem conhecimento científico formulando questões de pesquisa sobre objetos (ou fatos) reais ou supostos como tais, por exemplo: átomos, moléculas, células, sistemas, processos, máquinas e sociedades, etc. Nesse processo, formulam hipóteses e elaboram modelos conceituais que, encaixados em teorias gerais, poderão se constituir em modelos teóricos capazes de gerar resultados que possam ser confrontados com os resultados empíricos provenientes da experimentação. Porém, quão bem um modelo teórico representa o comportamento de um objeto ou fenômeno físico? A adequação de modelos teóricos aos fatos depende basicamente:

- das questões que pretendem responder;
- do grau de precisão desejável em suas predições;
- da quantidade de informações disponível sobre a realidade;
- das idealizações que são feitas a respeito dos seus referentes.

Adicionalmente, é desejável que os modelos sejam compatíveis com grande parte do conhecimento científico previamente estabelecido. Estes requisitos de cientificidade, embora necessários, de modo algum são suficientes quando

alcançados independentemente. Contudo, nenhum modelo teórico tem a pretensão de representar completamente qualquer sistema ou fenômeno físico. E não o fazem pelo simples fato de que são concebidos para descrever *certos fenômenos* que exibem estrutura e/ou comportamento semelhantes. Além disso, possuem um domínio de validade, ou seja, um escopo limitado. Por se concentrarem em um número limitado de características essenciais espera-se que, mais cedo ou mais tarde, falhem ao representar aspectos da realidade. Nesses casos, dizemos que o domínio de validade do modelo foi extrapolado. De forma semelhante, as teorias gerais também possuem limitações. O exemplo clássico é o da Mecânica de Newton que descreve com boa aproximação o movimento de objetos macroscópicos usuais, porém, com o surgimento de outras teorias, suas leis e princípios demonstraram-se limitados para a descrição do movimento nas regiões de altas velocidades (da ordem da velocidade da luz, c) e de pequenas dimensões (escalas atômicas e sub-atômicas).

Partindo dessa perspectiva, dedicamos esforços para oportunizar aos professores o enfrentamento de situações, apresentadas na forma de tarefas, que contextualizam fenômenos de interesse bem conhecidos da Física, seja através de enunciados extraídos de livros de texto ou da exploração de simulações computacionais, porém, sempre problematizadas de modo a enfatizar os conceitos subjacentes à modelagem do fenômeno físico em questão.

No Capítulo 2, apresentamos uma revisão da literatura sobre artigos de pesquisa enfocando a noção de modelo na pesquisa em ensino de Ciências, as implicações das idéias de Mario Bunge para o ensino nesta área e o uso de tecnologias computacionais no contexto educacional. No capítulo 3, apresentamos os aportes teóricos que fundamentam este trabalho, abordando a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud e a visão epistemológica de Mario Bunge.

No Capítulo 4, apresentamos o objeto de estudo e a metodologia de pesquisa. Em particular, discutimos o enfoque metodológico adotado, os participantes que fizeram parte do estudo, a implementação da proposta didática e os instrumentos para coleta e análise dos dados. No Capítulo 5, apresentamos e discutimos os resultados da investigação. Por último, no Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, apresentamos uma amostra de artigos de pesquisa enfocando o papel dos modelos científicos e do processo de modelagem na pesquisa em educação em Ciências, implicações da epistemologia de Mario Bunge para o ensino desta área e modos de utilização do computador no contexto educacional em geral. Foram consultados, a partir da década de 1990, os seguintes periódicos: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física, Investigações em Ensino de Ciências, Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC), Ciência & Ensino, Ciência e Educação, A Física na Escola, Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências, *Journal of Research on Science Teaching*, *International Journal of Science Education*, *Science Education*, *Science & Education*, *American Journal of Physics* e *Enseñanza de las Ciencias*.

2.1 QUANTO AOS MODELOS E AO PROCESSO DE MODELAGEM NA PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Na literatura de pesquisa em ensino de Ciências torna-se cada vez mais freqüente o surgimento de trabalhos abordando o tema dos modelos e do processo de modelagem, tanto em nível nacional quanto internacional. Não obstante, o termo “modelo” é bastante polissêmico tanto em Ciências quanto em educação em Ciências devido às diversas acepções que lhes são atribuídas, causando grande confusão até mesmo entre os pesquisadores (cientistas e educadores) de ambas as áreas.

Partindo da definição de modelo como representação de uma idéia, objeto, evento, processo ou sistema, e de modelagem como o processo de construção de modelos, Krapas et al. (1997) analisaram o uso e os sentidos do termo em 130 artigos publicados nos quatro primeiros periódicos de língua inglesa supracitados, entre os anos de 1987 a 1996. O trabalho consistiu em classificar os diversos sentidos encontrados nos artigos revisados. Esta classificação deu origem a cinco categorias definidas como:

Modelo mental: modelo pessoal, construído pelo indivíduo e que pode se expressar através da ação, da fala, da escrita, do desenho. Modelo consensual: modelo formalizado rigorosamente, compartilhado por grupos sociais com o propósito de compreender/explicar idéias, objetos, eventos, processos ou sistemas. Exemplos relevantes para a educação em ciências são os modelos científicos contemporâneos e do passado. Modelo pedagógico: modelo construído com o propósito de promover a educação. No sentido amplo, um modelo pedagógico inclui os processos de mediação didática, isto é, os processos de transformação de

conhecimento científico em conhecimento escolar. No sentido estrito, modelo pedagógico se refere à representação simplificada de uma idéia, objeto, evento, processo ou sistema que se constitua em objeto de estudo, com o objetivo de facilitar a compreensão significativa, por parte dos alunos, destes mesmos objetos. Meta-modelo: modelo formalizado rigorosamente, compartilhado por grupos sociais, e construído com o propósito de compreender/explicar o processo de construção e funcionamento de modelos consensuais ou de modelos mentais. Modelagem como objetivo educacional: enfatiza a promoção da competência em construir modelos como propósito central do ensino de ciências (KRAPAS et al., 1997, p. 7-8).

A revisão realizada por Krapas et al. (1997) limitou-se a mapear os diversos sentidos associados aos modelos (e à modelagem), concluindo haver necessidade de novos trabalhos para explicitar que perspectivas teóricas estão sendo utilizadas e/ou elaboradas para a investigação sobre modelos em educação em Ciências. Na verdade, faz-se necessário não só explicitar que referenciais teóricos devem ser utilizados na investigação sobre modelos como também implementar estratégias no processo de ensino-aprendizagem destinadas a tal fim. Nesse sentido, o presente trabalho pretende investigar a relevância da epistemologia de Mario Bunge na tentativa de favorecer a aprendizagem conceitual do campo associado à modelagem científica em geral e da noção de modelo científico em particular, por parte dos professores de Física do ensino médio em processo de formação continuada.

Islas e Pesa (2001) apresentam uma compilação dos resultados de algumas investigações (GILBERT, 1991; GROSSLIGHT et al., 1991; HARRISON e TREAGUST, 1996, 2000; MEYLING, 1997; RYDER et al., 1999) sobre concepções de estudantes de diferentes idades e características em relação à noção de modelo científico:

- os estudantes concebem os modelos como uma descrição exata da realidade; nesse sentido, não percebem a possibilidade de vários modelos representarem a mesma situação real;
- a dificuldade dos estudantes em distinguir os modelos científicos da realidade aumenta na medida em que a porção desta realidade sob investigação encontra-se cada vez mais distante da percepção direta;
- os estudantes manipulam o formalismo matemático subjacente ao modelo científico de forma mecânica, isto é, sem a devida reflexão sobre que entidades físicas ele corresponde;

- em geral, os estudantes não refletem sobre o papel do cientista na construção dos modelos e a validação destes modelos pela comunidade científica;
- os estudantes não reconhecem o papel da sistematicidade na relação teoria-modelo; nesse sentido, associam mais fortemente a validação dos modelos à comprovação empírica do que à legitimidade teórica.

As autoras exemplificam com os trabalhos de Halloun (1996) e Meyling (1997) o progresso de estudantes na compreensão do processo de modelagem mediante a implementação de estratégias didáticas destinadas à superação dos obstáculos apresentados acima. Islas e Pesa (2001) escrevem ainda que

os professores necessitam um conhecimento profundo da natureza dos modelos físicos e de seu funcionamento no desenvolvimento da disciplina [...] sobre a base deste conhecimento os docentes poderiam proporcionar a seus alunos “o tempo e a ajuda” que necessitam para compreender o caráter representacional dos modelos [...] (ISLAS e PESA, 2001, p. 321).

Por fim, as autoras concluem, em acordo com estudos anteriores (ISLAS e PESA, 2000a, b apud. 2001), sobre a necessidade de se intensificar a participação dos professores em espaços que propiciem a reflexão sobre a essência da construção do conhecimento científico e de questões consistentes com posturas epistemológicas contemporâneas.

Nesse sentido, Justi e Gilbert (2000) sugerem que o campo da modelagem (e dos modelos) pode servir de base para a inserção de conteúdos de natureza epistemológica no currículo das disciplinas científicas como, por exemplo, no caso do átomo. Para tanto, os autores caracterizaram os modelos históricos¹ nesta área, segundo uma abordagem lakatosiana; identificaram a existência de seis modelos atômicos entre os componentes curriculares obrigatórios, no Brasil e no Reino Unido, para o ensino de Ciências; analisaram o tratamento dado a estes modelos por diversos livros de texto brasileiros, em nível médio; e discutiram o uso de modelos híbridos² por parte de professores e livros de texto na explicação de conceitos científicos. Com isso, Justi e Gilbert concluem haver a necessidade de mais estratégias didáticas, voltadas para professores de Ciências em geral, que promovam um

¹ Modelo histórico é um modelo científico produzido em um contexto específico no passado e já superado no atual cenário da Ciência.

² Modelo híbrido, segundo Justi e Gilbert, é um modelo que mistura características de diversos modelos históricos distintos e, por isso, envolve concepções errôneas.

entendimento compreensivo dos modelos históricos da disciplina que se quer ensinar. Só assim, gradativamente, os modelos híbridos poderão ser abandonados.

Mais recentemente, Crawford e Cullin (2004) investigaram a influência de um módulo instrucional, baseado na modelagem científica dinâmica, no entendimento e na motivação de futuros professores de Ciências para aprender e ensinar sobre modelagem científica. Entre as questões de pesquisa deste estudo, incluíam-se: o que os futuros professores entendem por modelo e modelagem em Ciências? De que forma o tratamento contribuiu para uma visão mais adequada, por parte dos professores, sobre os modelos e a modelagem científica? Quais são as intenções dos futuros professores para ensinar sobre modelagem científica? Os resultados demonstraram que os professores possuíam, inicialmente, visões pouco esclarecidas sobre o papel dos modelos e da modelagem na Ciência. Após terem passado por uma experiência de modelagem, na qual puderam construir e refletir sobre seus próprios modelos computacionais sobre fenômenos do mundo real, há evidências de que os professores desenvolveram modos mais articulados de expressarem-se sobre modelos científicos. Contudo, os resultados não demonstraram indícios significativos sobre a intenção dos futuros professores de ensinar seus estudantes a respeito de modelos.

Treagust et al. (2002) elaboraram um instrumento com o objetivo de obter indícios sobre concepções de estudantes secundários (com idade entre 13 e 15 anos) em relação à natureza dos modelos científicos, o papel dos modelos na Ciência, como e porque os modelos científicos são usados e porque os modelos sofrem mudanças. O instrumento foi construído com base em um estudo realizado por Grosslight et al. (1991) e aplicado a 228 estudantes australianos. Os resultados deste estudo quantitativo, em que foi utilizado o *software Statistical Package for Social Scientists* (SPSS) para análise dos dados, demonstram que grande parte dos estudantes: a) associam múltiplas representações aos modelos científicos; b) concebem os modelos como réplicas exatas; c) entendem que os modelos são usados para representar física ou visualmente alguma coisa; d) consideram que os modelos são construídos para fazer previsões; e e) acreditam que os modelos são construídos para dar suporte às teorias científicas e que, por isso, evoluem de acordo com as mudanças do pensamento científico.

Coll et al. (2005), ao discutirem o papel dos modelos e das analogias na educação em Ciências, ressaltam que estratégias didáticas baseadas no processo de modelagem são mais

efetivas quando os estudantes são capazes de construir e analisar criticamente os seus próprios modelos. Além disso, destacam que o uso de modelos e analogias no ensino de Ciências pode fornecer subsídios para que os estudantes adquiram conhecimento sobre a natureza da Ciência. Contudo, não se pode confundir modelo mental com modelo expresso e as analogias que são utilizadas para representar um modelo mental. Por isso, fazem a seguinte diferenciação:

Modelos mentais que são expressos no domínio público através da ação, da fala, da escrita ou outras formas simbólicas são denominados *modelos expressos*. Modelos expressos que obtêm aceitação social por meio de testes pela comunidade de cientistas profissionais tornam-se *modelos consensuais*. Modelos consensuais que são correntemente usados nas fronteiras do conhecimento da Ciência podem ser chamados de *modelos científicos*, enquanto aqueles produzidos em contextos históricos específicos e mais tarde superados podem ser chamados de *modelos históricos* (Coll et al., 2005, p. 184).

Adicionalmente, os autores entendem que as analogias podem ser consideradas com um subconjunto de modelos quando envolvem a comparação entre duas coisas que são familiares em alguns aspectos. É nesse sentido que, segundo os autores, os cientistas se utilizam de analogias, com frequência, seja para explicar conceitos científicos abstratos, seja para desenvolverem a complexidade de seus modelos mentais.

Já no contexto científico educacional, Bozelli e Nardi (2006) ao pesquisarem sobre a importância do discurso analógico no ensino superior de Física, compilam uma série de resultados sobre as potencialidades e as limitações das analogias (e metáforas) utilizadas na aprendizagem de Ciências. Entre as potencialidades, ressaltam que as analogias: são ferramentas valiosas na aprendizagem sobre mudança conceitual, pois abrem novas perspectivas; podem facilitar a compreensão dos abstratos, identificando semelhanças; podem favorecer a visualização dos abstratos; são elementos potencialmente motivadores, na medida em despertam o interesse do estudante; e forçam os professores a considerar o conhecimento prévio dos estudantes, além de evidenciarem concepções errôneas nas áreas já ensinadas. Por outro lado, o discurso analógico mostra-se limitado, uma vez que uma analogia nunca se baseia em uma combinação exata entre analógico (domínio familiar) e alvo (domínio desconhecido).

2.2 QUANTO ÀS IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS DA EPISTEMOLOGIA DE MARIO BUNGE

Tanto o trabalho de Pietrocola (1999) quanto o de Cupani e Pietrocola (2002) discutem a epistemologia de Mario Bunge e apresentam suas implicações para o ensino de ciências. O primeiro trabalho, ao criticar as bases epistemológicas do movimento construtivista por super-valorizar as construções individuais, em detrimento da dimensão ontológica do conhecimento científico e de seu caráter coletivo (social), conclui haver necessidade de valorizar suficientemente a apreensão da realidade concernente ao mundo físico. Assim, Pietrocola introduz as idéias de Mario Bunge na discussão das relações entre construção e realidade e o papel dos modelos tanto na Ciência quanto no ensino de Ciências. Matthews (1994, apud. PIETROCOLA, 1999) ao criticar os fundamentos epistemológicos do movimento construtivista coloca que:

A ação do indivíduo e as maneiras por ele forjadas de dar sentido a sua experiência sensitiva, se não forem constringidas por outros elementos, entre estes aqueles provenientes do próprio mundo físico, determinam um conhecimento Físico muito particularizado. Gera-se a sensação de existência de obstáculo intransponível nas tentativas de compreensão do mundo, autorizando a validação de conhecimento unicamente através de critérios pessoais. Essa orientação parece conferir um perfil *relativista* ao conhecimento, pois a ausência de critérios externos ao indivíduo implicaria numa forma de subjetivismo funcional, vinculando o conhecimento produzido às necessidades do próprio sujeito. Uma conseqüência disto seria a diminuição do conteúdo de verdade associado ao conhecimento científico e seu enfraquecimento frente a outras formas de conhecimento (PIETROCOLA, 1999, p. 3).

Segundo Pietrocola (1999), as críticas do construtivismo à abordagem empiricista ao ensino de Ciências durante as décadas de 1980-90 contribuíram de forma significativa para a valorização do papel do aluno (e de suas pré-concepções) no processo de ensino-aprendizagem como um todo. Entretanto, o autor afirma que as idéias acima transmitem

uma concepção de ciência menos comprometida com a apreensão de uma realidade exterior. Esta concepção pode gerar uma expectativa negativa nos estudantes para com a pertinência do ensino de ciências, pois não compensaria o investimento de anos de estudos de ciências caso isto não pudesse reverter em incremento à forma de se relacionar com o mundo exterior (PIETROCOLA, 1999, p. 6).

Contudo, sabe-se que o distanciamento entre o ensino de Ciências e a realidade experienciada pelos estudantes não se deve exclusivamente a má aplicação de idéias construtivistas. O modo excessivamente formal como as disciplinas científicas vêm sendo abordadas reclama regras e esquemas associados especificamente ao contexto escolar de

modo que “dois mundos” disjuntos passam a coabitar a mente dos estudantes. Nesse sentido, torna-se necessário redirecionar o objetivo do ensino de Ciências para a reconstrução conceitual da realidade, em outros termos, dar sentido para aquilo que se pretende ensinar.

É dentro desse contexto, segundo Cupani e Pietrocola (2002), que as idéias de Mario Bunge mostram-se relevantes para o ensino de Ciências. Segundo Bunge (1974), o objetivo maior da Ciência é apreender a realidade pelo pensamento. Ele concebe o conhecimento científico a partir de uma visão segundo a qual a realidade é ordenada e os acontecimentos nela ocorridos obedecem a padrões complexos para serem compreendidos diretamente através dos sentidos. É preciso que enriqueçamos estes últimos com conhecimento teórico. Assim, as explicações científicas estão sempre impregnadas de imperfeições e podem ser entendidas como representações simbólicas aperfeiçoáveis destinadas a produzir explicações de fatos reais.

Entretanto, “para bem ensinar (e aprender) as explicações científicas é preciso conhecer de que forma a ciência pode explicar” (CUPANI e PIETROCOLA, 2002, p. 120). Nas Ciências Físicas as explicações sobre objetos ou fatos são possíveis, via de regra, na medida em que estes puderem ser tratados por uma teoria (geral). Este primeiro passo em direção à apreensão conceitual de parte da realidade inicia com as idealizações passíveis de serem feitas sobre o que se procura explicar. Eis que surge o que Bunge denomina de *objeto-modelo*. Um objeto-modelo é um modelo conceitual do objeto concreto. Já a explicação que a teoria é capaz de produzir sobre o objeto-modelo é o que Bunge denomina de *modelo teórico* do objeto (ou fato) real ou suposto como tal. Segundo os autores, a possibilidade de explicar cientificamente através de modelos teóricos possibilita uma abordagem didático-pedagógica alternativa para o ensino de Ciências.

Boa parte das críticas lançadas ao longo de décadas pelos estudantes aos seus professores consiste em que eles não vêem utilidade naquilo que lhes é ensinado. Em se apresentando os conteúdos da ciência como forma de produzir e validar modelos para explicar porções do mundo, parte destas críticas pode ser minimizada. As teorias vistas com esta possibilidade modelizadora permitem apontar caminhos para a construção de representações não arbitrárias do mundo, de onde explicações podem ser produzidas (op. cit., p. 121).

As implicações da epistemologia de Mario Bunge conduzem para um ensino de Ciências que é capaz de fornecer aos estudantes os conhecimentos teóricos necessários para compreender de que forma a Ciência constrói suas explicações sobre o mundo. Na medida em

que estas explicações não descrevem a realidade por inteiro, tampouco de maneira exata, mas sim como uma representação simbólica, parcial, racional e não-arbitrária da mesma, cumpre ressaltar que esta realidade constitui-se de elementos que vão além da percepção direta sendo, portanto, necessário supor mecanismos hipotéticos que a descrevam de forma objetiva. Segundo os dois autores:

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. Dessa forma, torna-se necessário entender os processos de produção da ciência, assim como as características e estatuto do conhecimento por ela produzido (op. cit., p. 117).

2.3 QUANTO ÀS TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS APLICADAS AO ENSINO DE CIÊNCIAS

Rezende (2002) numa reflexão sobre o uso das tecnologias da informação e comunicação no contexto educacional afirma ser necessário colocar as tecnologias a serviço de um projeto pedagógico e não o contrário. Embora as tecnologias não representem a solução para os problemas educacionais, são necessárias investigações sobre as possíveis contribuições e limitações de sua utilização na educação. Segundo Rezende, é oportuno para

questionarmos o paradigma tradicional de ensino ainda hegemônico no contexto educativo. O ideal é aproveitar este momento para incorporar novos referenciais teóricos à elaboração de materiais didáticos ou à prática pedagógica até porque as novas tecnologias podem propiciar novas concepções de ensino-aprendizagem (REZENDE, 2002, p. 1-2).

A autora termina por concluir que a incorporação da tecnologia no contexto educacional pode ter conseqüências positivas desde que acompanhada por perspectivas teóricas sobre a natureza do conhecimento e do processo de ensino-aprendizagem.

Em outro artigo, relatando uma revisão da literatura referente ao uso de tecnologias computacionais no ensino de Física em nível médio e universitário, Araujo e Veit (2004) classificaram 109 artigos publicados nos principais periódicos na área de ensino de Ciências, a partir de 1990, em termos das modalidades de uso do computador e dos tópicos de Física abordados. As sete categorias, aqui apresentadas em ordem decrescente de acordo com o número de vezes que aparecem na literatura, são: a) modelagem e simulação computacionais; b) coleta e análise de dados em tempo real; c) instrução e avaliação mediada pelo computador; d) recursos multimídia; e) resolução algébrica/numérica e visualização de soluções

matemáticas; f) comunicação à distância; e g) estudo de processos cognitivos. Os resultados dessa revisão indicam uma forte predileção pela mecânica newtoniana e a constatação de que somente metade dos artigos podem ser classificados como de pesquisa³ em ensino de Física. Desta forma, os autores concluíram haver necessidade de mais investigações na área em vista “do número total de publicações nestas revistas, o grande uso que tem sido feito dos computadores nas atividades de ensino e a quantidade do material instrucional disponível na *web*” (ARAUJO e VEIT, 2004, p. 12). Por fim, em concordância com as idéias de Rezende, alertam sobre o uso indiscriminado das tecnologias computacionais no ensino de Física sem a devida preocupação com referenciais teóricos sobre aprendizagem.

Como foi dito no início deste capítulo, a revisão da literatura que apresentamos acima não esgota, de modo algum, a vastíssima discussão que ocorre sobre modelos e modelagem na pesquisa em ensino de Ciências. Nosso objetivo foi o de discutir o tema através de algumas referências representativas sobre o mesmo e que se mostram relacionadas com os objetivos deste trabalho. Assim, também, procedemos quanto às implicações da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de Ciências e do uso das tecnologias computacionais no contexto educacional. No capítulo seguinte, apresentamos o referencial teórico utilizado na investigação deste trabalho de pesquisa.

³ Contendo questões de pesquisa, revisão de literatura, referencial teórico, metodologia, análise dos resultados e conclusão.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresentamos os dois aportes teóricos que fundamentam o presente trabalho. Subsidiando-o desde o início até o fim está a visão epistemológica de Mario Bunge no que concerne à natureza da Ciência, em particular, ao papel desempenhado pelos modelos na construção do conhecimento científico e, de forma complementar, a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud, no que se refere à aprendizagem conceitual no enfrentamento de situações-problema associadas à noção e ao uso de modelos científicos.

3.1 A VISÃO EPISTEMOLÓGICA DE MARIO BUNGE

A visão epistemológica de Bunge fornece uma concepção sobre a Ciência baseada num conjunto de hipóteses filosóficas sobre a natureza do conhecimento científico que ele denomina de realista crítica (BUNGE, 1974). Segundo Cupani e Pietrocola (2002), Bunge entende que a realidade é composta de diversos níveis (físico, biológico, psíquico e sócio-cultural), cada qual, com suas propriedades e leis específicas. Para ele, a realidade existe independentemente do homem que por sua vez possui uma capacidade limitada para conhecê-la. Além disso, Bunge reconhece a autonomia da Lógica e da Matemática em relação às propriedades do mundo, o que as torna ferramentas universais para a pesquisa em Ciência.

Ainda segundo Cupani e Pietrocola (2002), todas as formas de construção de conhecimento, inclusive o produzido pela Ciência, baseiam-se na formulação de hipóteses. Nas Ciências Fatais (da natureza e do homem) as hipóteses são concebidas como suposições iniciais a respeito de fatos reais. Uma hipótese para ser considerada científica precisa ter coerência (ser logicamente bem formulada), ser precisa e comprovável empiricamente, ainda que não de forma direta. Adicionalmente, é desejável que a hipótese seja compatível com o corpo de conhecimento científico previamente estabelecido. Assim, “as teorias científicas são *sistemas* de hipóteses (proposições corrigíveis) que contêm conceitos extralógicos que vão além de um universo específico, isto é, que se referem a um assunto definido” (BUNGE, 1974, p. 124).

Mas, afinal, com que intenção os teóricos formulam teorias científicas? Segundo Bunge, com a intenção de apreender a realidade pelo pensamento. Embora este processo de teorização implique sempre numa tentativa de trazer a realidade para um plano conceitual,

uma vez que passemos a comparar tanto as teorias científicas quanto seus referentes a dispositivos em forma de caixa, é possível seguir por um ou outro “caminho teórico”, a saber: a) pode-se desejar construir teorias do tipo representacionais (ou de caixa translúcida), em que opta-se por uma descrição detalhada e profunda de alguns aspectos da realidade, mediante a introdução de variáveis hipotéticas, de modo a explicitar os mecanismos mais internos (não-observáveis) da caixa (sistema físico); ou b) pode querer-se construir teorias do tipo fenomenológicas (ou de caixa-negra), onde a escolha é por uma abordagem mais direta, isto é, mais próxima dos dados empíricos e que faz uso somente de variáveis externas (observáveis) do tipo entrada-e-saída (E-S), de modo a descrever o comportamento externo da caixa sob observação. Tomemos como exemplos, de um e de outro enfoque, os mencionados por Bunge no campo da Física, da Química e da Psicologia Educacional.

(I) *Cinemática*, ou estudo do movimento sem levar em conta as forças envolvidas – estudo que fica a cargo da dinâmica, uma teoria típica da caixa translúcida.

(II) *Óptica Geométrica*, ou a teoria dos raios luminosos, que não faz suposição acerca da natureza e estrutura da luz, um problema abordado pela óptica física, uma teoria representacional.

(III) *Termodinâmica*, que não faz suposição sobre a natureza e o movimento dos constituintes do sistema, um problema tratado pela Mecânica Estatística, que é uma teoria da caixa translúcida.

(IV) *Teoria do Circuito Elétrico*, na qual cada elemento em um circuito é tratado como unidade despida de estrutura interna; tal estrutura é objeto da teoria dos campos e da teoria do elétron.

(V) *Teoria da Matriz de Espalhamento*, na física nuclear e atômica que enfoca as características mensuráveis dos fluxos de partículas que entram e que saem; a correspondente teoria da caixa translúcida é a usual teoria quântica hamiltoniana, cujos postulados definem as interações entre as partículas.

(VI) *Cinemática Química Clássica*, que lida com velocidade de reação e evita a questão dos mecanismos de reação.

(VII) *Teoria da Informação*, que ignora a espécie e a estrutura dos elementos implicados (transmissor, canal, etc.), bem como o significado das mensagens transmitidas.

(VIII) *Teoria da Aprendizagem* na psicologia behaviorista que evita qualquer referência a mecanismos fisiológicos e estados mentais (op. cit., p. 69).

Contudo, a pedra fundamental para o entendimento do trabalho científico moderno, na visão de Bunge, é o conceito de modelo. Os modelos são entendidos como os “blocos” fundamentais do processo de construção do conhecimento científico. Como foi dito anteriormente, o termo “modelo” suscita uma variedade de sentidos nas ciências teóricas. De acordo com Bunge, os dois principais sentidos que devem ser considerados são: “o modelo enquanto representação esquemática de um objeto concreto e o modelo enquanto teoria relativa a esta idealização” (op. cit., p. 30). O primeiro sentido define o que Bunge denomina de objeto-modelo de um objeto concreto. Este conceito pode às vezes ser representado

visualmente. O segundo sentido resume o que o autor entende por modelo teórico cujo referente direto é o objeto-modelo que lhe deu origem. Este conceito é concebido como um sistema hipotético-dedutivo específico e não pode ser representado de outra forma que não por um conjunto de hipóteses amarradas logicamente e expressas de preferência em linguagem matemática.

A maneira como Bunge entende o processo da modelagem científica, isto é, a típica atividade do cientista teórico, revela a importância que ele atribui à noção de modelo na produção do conhecimento pela Ciência. Embora desempenhem papel fundamental no contexto científico, as teorias por si sós, de nada valem na medida em que são abstrações criadas por nossa razão e intuição e que, por isso, não se aplicam diretamente às coisas do mundo real. No extremo oposto, os dados empíricos apesar de muito próximos da realidade não são passíveis de serem inseridos em sistemas lógicos para gerar conhecimento. A função dos modelos é justamente a de mediar a relação entre teoria e realidade.

A reconstrução conceitual da realidade começa pela representação esquemática dos objetos (ou fatos) que se quer apreender. Mais precisamente, inicia-se com as idealizações (simplificações) que resultam em classes de equivalência, isto é, objetos ostensivamente diferentes sendo reunidos por apresentarem alguns aspectos semelhantes. Isto é tão somente uma classificação que resume os traços relevantes de objetos diferentes e que posteriormente são tidos como idênticos num certo sentido. Como exemplo, se pode citar a classificação das partículas elementares em léptons (que não interagem via força forte) e hádrons (que interagem via força forte). Os léptons são partículas elementares de spin $1/2$. Os hádrons são divididos em bárions, partículas com spin fracionário ($1/2, 3/2, 5/2, \dots$), e mésons, partículas com spin inteiro ($1, 2, 3, \dots$). Na medida em que estes objetos puderem ser tratados por uma teoria, isto é, que forem atribuídas propriedades e relações em grande parte não-observáveis (carga, massa, spin, estranheza, cor, sabor, etc.), passíveis de serem enxertadas em uma teoria, surge um construto, mais ou menos elaborado, que Bunge denomina de modelo conceitual (ou objeto-modelo). Este modelo conceitual pode, em princípio, ser tão complicado quanto se queira, jamais completo. Vejamos outro exemplo: o do *random walk problem* (problema do caminho aleatório). Este problema consiste em saber qual a probabilidade P de um indivíduo estar na posição x (em relação à origem) de uma reta após ter dado um total de N passos (todos de mesmo comprimento), para a direita com probabilidade p , ou para a esquerda, com probabilidade $q = 1 - p$. Existem uma série de idealizações que foram construídas até se

chegar neste enunciado do problema. Passemos, agora, às versões bi e tridimensional deste problema. Ambas só podem ser tratadas através de uma descrição vetorial, tornando-as demasiado complicadas. Entretanto, através desta representação mais realista é possível estudar o fenômeno da difusão de uma molécula gasosa que sofre colisões intermoleculares. Ainda assim, este modelo conceitual não é uma representação especular da realidade, entre outras coisas, por que não considera a possibilidade da molécula “dar passos” de comprimento variado nas diferentes direções. Este exemplo ilustra o papel dos modelos conceituais: propiciar representações simbólicas que, embora devam ser constantemente aperfeiçoadas, nos auxiliem na descrição da realidade com toda sua riqueza e complexidade. Trabalhando com modelos unidimensionais sabemos de antemão que mais cedo ou mais tarde iremos fracassar. Por outro lado, modelos unidimensionais nos fornecem soluções matemáticas mais simples e, por consequência, melhor interpretáveis. Entretanto, a construção de representações esquemáticas não é o suficiente para que tenhamos o que comumente denomina-se de modelo teórico. É preciso que engastemos o modelo conceitual dentro de uma teoria geral, ou seja, dentro de “um corpo de idéias no seio do qual se possam estabelecer relações dedutivas” (op. cit., p. 23). Tomemos o exemplo da Teoria Cinética dos Gases. Esta teoria específica resulta da inserção de um modelo (conceitual) de gás ideal, isto é, um conjunto de hipóteses sobre a composição da matéria no estado gasoso, dentro da Mecânica Estatística Clássica, uma teoria geral que não se pronuncia sobre a natureza dos elementos que constituem o sistema envolvido. A partir dessa inserção é possível deduzir uma série de resultados, entre eles: a equação de estado e as distribuições de velocidades das moléculas que constituem um gás ideal. Além disso, a Teoria Cinética dos Gases pode estimar valores para os calores específicos de alguns gases reais, o que a torna passível de comprovação empírica. Em suma, o processo de modelagem reside no fato de que teorias gerais, que em princípio não se pronunciam diretamente sobre a realidade, ao serem enxertadas por modelos conceituais produzem representações de parte da realidade, isto é, modelos teóricos que fornecem soluções a situações-problema particulares. Segundo Bunge, no processo de modelagem:

deve-se distinguir as seguintes construções: o objeto-modelo m representando os traços-chave (ou supostos-chave) de um objeto concreto r (ou suposto concreto); o modelo teórico T_s especificando o comportamento e/ou o(s) mecanismo(s) interno(s) de r por meio de seu modelo m ; e a teoria geral T_g acolhendo T_s (e muitas outras) e que deriva seu valor de verdade bem como sua utilidade de diversos modelos teóricos que podemos construir com o seu auxílio – mas jamais sem suposições e dados que a extravasam e recolhidos pelo objeto-modelo m (op. cit., p. 25).

A Tabela 1, inspirada em Bunge (op.cit., p. 35), ilustra algumas representações feitas pela Física.

Tabela 1 – Exemplos de situações modeladas em Física.

Situação a ser modelada	Modelo conceitual	Teoria geral	Modelo teórico
Escoamento da água no interior de uma tubulação	Fluido contínuo sem viscosidade	Mecânica dos Fluidos	Modelo de fluido ideal
	Fluido contínuo com viscosidade		Modelo de fluido viscoso
Certa quantidade de gás contida num recipiente fechado	Sistema de partículas, termicamente isolado, que interagem via colisões perfeitamente elásticas	Mecânica Estatística e Mecânica Clássica	Modelo de gás ideal clássico
		Mecânica Estatística e Mecânica Quântica	Modelo de gás ideal quântico
Comportamento da matéria em nível microscópico	Sistema planetário	Mecânica Clássica e Eletromagnetismo	Modelo atômico de Rutherford
Movimento dos planetas do Sistema Solar		Mecânica Clássica	Modelo gravitacional de Newton

Na Ciência em geral e na Física em particular existem tantos modelos conceituais quantas forem as idealizações e os objetivos envolvidos. Embora nem todos os modelos (representações) sejam conceituais, todo modelo conceitual pode servir de base para a construção de um modelo teórico. Com isso, são muitos os modelos teóricos de que dispomos para representar a realidade. Por ora, fixemos nossa atenção em duas espécies: os modelos do tipo **caixa negra** e os modelos do tipo **caixa translúcida** (BUNGE, 1974). A construção de modelos tanto de um tipo quanto de outro é uma atividade de criação que depende, entre outras coisas, do tipo de conhecimento disponível sobre o sistema físico, sem falar das idiossincrasias (habilidades e preferências intelectuais) do cientista. Porém, uma das diferenças reside nos tipos de **hipóteses** que formulam acerca do sistema que se pretende representar. Enquanto os modelos de caixa negra limitam-se a previsões sobre o comportamento global do sistema, os modelos de caixa translúcida formulam hipóteses a respeito dos mecanismos mais internos (diretamente inacessíveis) do sistema. Enquanto os primeiros pouco se distanciam dos dados empíricos, os segundos podem prever fenômenos desconhecidos. Enquanto os primeiros permanecem isolados da massa de conhecimento, os segundos estabelecem conexões com outras teorias e áreas do conhecimento. Neste último caso, é possível extrapolar o modelo para situações além das quais foi inicialmente construído. Vejamos o exemplo de Bunge sobre a Teoria de Bloch para o estado sólido. Inicialmente, com base num conjunto de hipóteses sobre a constituição de um corpo

cristalino, Bloch formulou um modelo conceitual do cristal. Ao inserir este modelo dentro da Mecânica Quântica forneceu explicações para algumas propriedades da maioria dos cristais, a saber: as condutividades elétrica e térmica e a susceptibilidade magnética. Além disso, embora não tivesse previsto, o modelo teórico pôde explicar a diferença entre materiais isolantes, semicondutores e condutores em termos das bandas de energia no interior do cristal. Em suma, hipóteses formuladas por modelos de caixa translúcida são mais ousadas, pois supõem a existência de um mecanismo interno ao sistema. Entretanto, para que sejam confirmadas é preciso que forneçam explicações de comportamentos já conhecidos, estejam de acordo com grande parte do conhecimento já estabelecido e prevejam novos acontecimentos.

Voltemos ao passo inicial, à construção de modelos conceituais. No processo de idealização é possível seguir por diferentes caminhos, por exemplo: a) pode-se elaborar um único modelo conceitual com a finalidade de representar toda uma classe de objetos concretos; ou b) pode-se esquematizar um único objeto concreto através de diversos modelos conceituais. Ou seja, modelos conceituais podem representar tanto um conjunto de objetos quanto apenas um objeto real ou suposto como tal. Diferentes representações conduzem a diferentes modelos: cada um levando em conta alguns aspectos negligenciados pelos demais. A Figura 2 ilustra de forma esquemática as duas possibilidades.

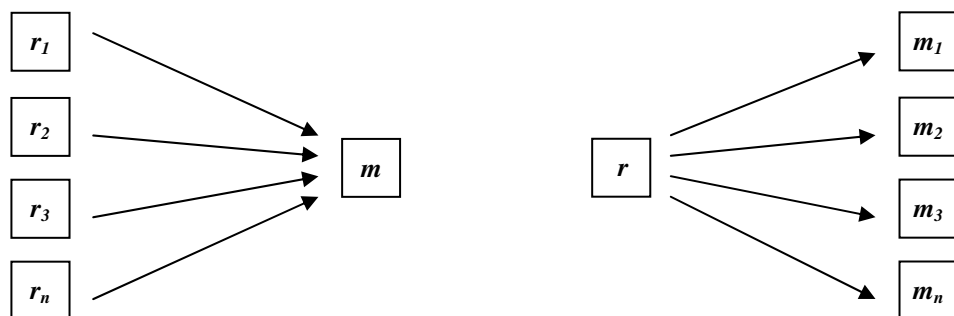


Figura 2 – À esquerda, uma classe de n objetos (diferentes) sendo representada por apenas um modelo conceitual m ; à direita, um único objeto concreto sendo representado por um conjunto de n modelos conceituais.

A fim de exemplificarmos a situação à direita na Figura 2, tomemos como exemplo o que consiste em simular o movimento de translação da Terra ao redor do Sol. Para tanto, poderíamos formular um modelo (conceitual) de partícula ligada em movimento circular. Embora saibamos que a Terra não descreve uma trajetória circular, mas sim elíptica ao redor do Sol, esta pode ser uma primeira aproximação (numérica) se estivermos interessados em avaliar a sua velocidade de escape, ou seja, a velocidade mínima que a Terra deveria

submeter-se a fim de escapar do campo gravitacional criado pelo Sol. Porém, se o nosso objetivo for estudar os fenômenos das estações do ano e dos eclipses (solares e lunares) parece claro que este modelo não seria mais útil. Um modelo em que pudéssemos representar a Terra como um corpo (esfera) rígido pareceria mais interessante. Agora, suponha que desejássemos estudar as condições do clima na Terra. De novo, parece clara a insuficiência do nosso modelo para dar conta, ainda que de forma simplificada, do problema que pretendemos resolver. É preciso que o complicemos, isto é, que possamos atribuir a Terra propriedades até então negligenciadas pelos modelos anteriores.

Mas voltemos ao modelo que poderia ser construído para estudar as estações do ano e os eclipses. Na medida em que adotássemos aquela representação para o globo terrestre, atribuindo a ele um formato tridimensional e não mais de partícula, estaríamos fazendo uma idealização que implicaria em alguma aproximação de modo a facilitar nossos cálculos. A diferença entre idealizações e aproximações é bastante sutil em se tratando de modelagem científica. Vejamos dois exemplos na tentativa de esclarecer este ponto.

Primeiramente, considere o movimento de queda de um corpo próximo à superfície da Terra e a seguinte suposição inicial: “o ar deve ser considerado um fluido em repouso”. Neste caso, a suposição pode ser encarada como uma idealização do modelo que pretende representar conceitualmente o sistema físico do problema. E por quê? Exatamente por ter sido imaginada no início da formulação do problema. As idealizações constituem o passo inicial na construção de um modelo conceitual de um sistema (ou classe de sistemas). Já as aproximações são simplificações na tentativa de facilitar os cálculos de um sistema previamente idealizado, seja pela incapacidade de nossas técnicas matemáticas, seja pelos objetivos almejados. Com isso não se quer dizer que as idealizações não venham a facilitar os cálculos, senão que elas são pensadas inicialmente. Em última análise, tanto as idealizações quanto as aproximações são simplificações de algum referente real. Entretanto, as idealizações estão mais relacionadas com a constituição do sistema a ser modelado. Enquanto que as aproximações, se necessárias, viriam depois e estariam mais relacionadas à facilitação dos cálculos para a obtenção de resultados teóricos melhor interpretáveis. Vejamos o exemplo do pêndulo simples.

Um pêndulo simples é um modelo conceitual que consiste de uma massa pontual m oscilando em torno de uma posição de equilíbrio, suspensa por um fio inextensível de

comprimento l e massa desprezível. Encaixado na Mecânica Clássica, este esquema conceitual dá origem a um modelo teórico baseado numa equação diferencial de segunda ordem que descreve o movimento oscilatório do sistema. Além disso, dadas as condições iniciais e os parâmetros do pêndulo é possível calcular seu período, ou seja, o tempo transcorrido para que o sistema descreva uma oscilação completa. Em geral, o período do pêndulo simples depende da amplitude do movimento. Entretanto, se o pêndulo oscila com pequenas amplitudes é possível aproximarmos $\text{sen } \theta \approx \theta$ na equação diferencial que descreve seu movimento. Nesse caso, temos que o período do pêndulo independe da amplitude do movimento, fato que foi descoberto por Galileu e batizado de isocronismo das pequenas oscilações.

Como se sabe, o processo de modelagem não está restrito à construção de modelos conceituais. É preciso inserir o modelo conceitual numa teoria capaz de fornecer respostas a situações particulares. Ou seja, é preciso que formulemos teorias específicas a fim de submetê-las a comprovação empírica e avaliarmos seu domínio de validade. Com isso, torna-se evidente a incapacidade tanto dos modelos conceituais quanto das teorias gerais de propiciarem, mesmo que se refiram a fatos supostamente reais, descrições da realidade. Assim, nosso conhecimento sobre a realidade pode ser incrementado de dois modos: a) é preciso que multipliquemos cada vez mais o número de modelos teóricos, cada qual focalizando diferentes aspectos da realidade; e b) que aperfeiçoemos os modelos teóricos já existentes, de modo a obtermos descrições cada vez melhores (fidedignas) do mundo em que vivemos. A Figura 3 ilustra de forma esquemática o que se faz em ciência teórica de modo geral.

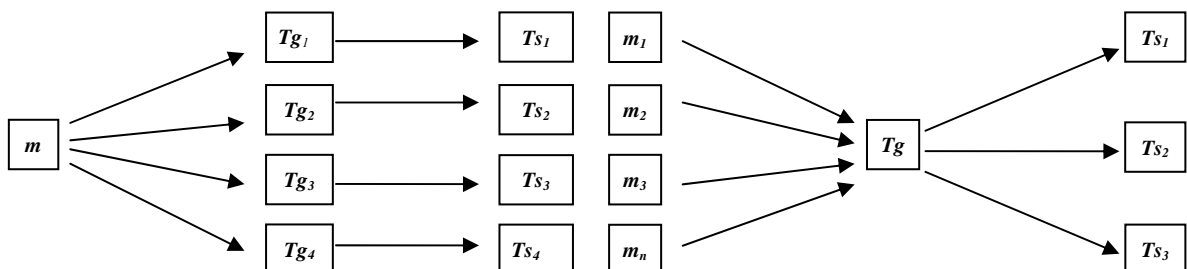


Figura 3 – À esquerda, um modelo conceitual m inserido em quatro teorias gerais (Tg_1, Tg_2, Tg_3, Tg_4) resultando em quatro teorias específicas ou modelos teóricos (Ts_1, Ts_2, Ts_3, Ts_4); à direita, quatro modelos conceituais (m_1, m_2, m_3, m_4) inseridos na mesma teoria geral Tg resultando em três teorias específicas (Ts_1, Ts_2, Ts_3). O número inicial de teorias gerais (à esquerda) e de modelos conceituais (à direita) é meramente ilustrativo. Além disso, nem todo modelo conceitual rende bons resultados ao ser inserido numa teoria geral.

De forma a ilustrar a situação à direita da Figura 3, suponha que estejamos interessados em estudar o comportamento de um fluido real escoando no interior de um tubo cilíndrico. Se o nosso objetivo for estabelecer relações entre grandezas físicas macroscópicas, devemos optar por uma descrição em que o fluido possa ser representado por um contínuo. Nesse caso, qualquer elemento de fluido, não importando seu volume, deverá conter um número muito grande de moléculas. Em outros termos, o elemento de volume do fluido deve ser muito menor que as dimensões do sistema físico, porém muito maior que as típicas distâncias intermoleculares. Além disso, nossa representação poderá ou não levar em consideração efeitos da viscosidade (atrito interno) e de condução térmica do fluido, isto é, poderemos optar por construir um modelo de fluido ideal ou um modelo de fluido viscoso. Para que obtenhamos um modelo teórico capaz de descrever a situação real atendendo aos nossos objetivos, um destes modelos deve ser enxertado numa teoria geral, por exemplo, a Mecânica dos Fluidos. Nesse caso, como resultado é possível obter as equações básicas que governam o escoamento do fluido, ou seja, os respectivos modelos teóricos.

Não obstante, Bunge aprofunda seu entendimento sobre o processo da modelagem científica ao afirmar que os modelos teóricos, além de representar, têm a função de simular a realidade mediante a inferência de mecanismos hipotéticos internos (hipóteses não-observáveis) que possibilitam não só explicar uma série de dados como também “o que o cientista denomina de interpretação dos mesmos dados” (BUNGE, 1974, p. 84). Nesse sentido, “as coisas são o modelo teórico que as representa, e sua essência passaria então a ser determinada pelos mecanismos *hipotéticos* ou *escondidos*, nele presentes” (PIETROCOLA, 1999, p. 9). O adjetivo “hipotético” para o mecanismo a ser inferido tem um significado bastante preciso para Bunge. Ele indica a necessidade de abastecermos nossos sentidos perceptivos com conhecimento teórico a fim de que aprofundemos nossa visão sobre a realidade. Em suma,

Para apreender o real começa-se por afastar-se da informação. Depois, se lhe adicionam elementos imaginários (ou antes hipotéticos) mas com uma intenção realista. Constitui-se assim um objeto-modelo mais ou menos esquemático e que, para frutificar deverá ser enxertado sobre uma teoria suscetível de ser confrontada com os fatos. (BUNGE, 1974, p. 16).

Por fim, na medida em que todo modelo científico é, em certo grau, uma invenção, sua falseabilidade deve estar constantemente sendo avaliada. Com isso, a confiabilidade dos modelos deve ser criticamente guiada por testes e previsões. Em conseqüência, os cientistas estariam habilitados a abandonar provisoriamente a realidade com toda sua complexidade e

dedicar-se a “atividade típica da pesquisa científica contemporânea: a construção de modelos teóricos e sua comprovação” (BUNGE, 1974, p. 30).

Por tudo isso, o processo de modelagem nas ciências teóricas implica uma série de questionamentos para o ensino de Ciências que nós educadores devemos estar atentos. Vejamos alguns: a) dados dois modelos de um mesmo sistema, como verificar se os mesmos são equivalentes? b) dados dois modelos não equivalentes, como saber se dizem respeito ao mesmo sistema? c) dado um sistema real, como selecionar os traços relevantes que melhor o representarão, ou seja, dentre os possíveis modelos, qual devemos optar? e d) dado um modelo qualquer de um sistema, como avaliar seu domínio de validade? A solução para estas questões não é única pelo simples fato de que assim como não dispomos de um único método para a construção de modelos científicos, tampouco temos uma receita para abordar problemas de Física em sala de aula. Em suma, a solução de um problema científico depende, entre outros aspectos, dos nossos objetivos, das informações e dos instrumentos de que dispomos.

3.2 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE GÉRARD VERGNAUD

A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990, apud. MOREIRA, 2004b) é uma teoria psicológica que procura explicar o funcionamento cognitivo do sujeito em ação e o aprendizado de competências complexas, em particular, daquelas envolvidas nas atividades científica e técnica, valendo-se para isso de idéias tanto de Piaget quanto de Vygotsky. A herança piagetiana está nos conceitos de adaptação, desequilíbrio, reequilíbrio e esquema de assimilação, conceito-chave para a teoria de Vergnaud. Da mesma forma, conceitos vygotksyanos como interação social, linguagem e zona de desenvolvimento proximal desempenham papel fundamental na teoria dos campos conceituais. Para Vergnaud (1998, apud. MOREIRA, 2004b), o desenvolvimento cognitivo depende fundamentalmente de situações e de um domínio conceitual específico para lidar com as mesmas. Nesse sentido, não se pode buscar evidências das reais dificuldades apresentadas pelos alunos em determinada área do conhecimento sem se levar em conta as especificidades dos conteúdos que constituem esse conhecimento. Assim, a teoria dos campos conceituais pode ser entendida como uma teoria sobre o “processo de conceitualização do real que permite localizar e estudar continuidades e rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual” (MOREIRA, 2004b, p. 08).

Segundo Vergnaud, o conhecimento humano está organizado em campos conceituais que devem ser dominados pelo indivíduo para que este possa apropriar-se de certas competências e desenvolver-se cognitivamente. Entretanto, este domínio conceitual requer tempo (anos, por vezes) e depende basicamente da experiência, da maturidade e da aprendizagem de novas situações e problemas que pertençam ao campo conceitual de interesse. Vergnaud entende um campo conceitual como sendo:

um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição (op. cit., 08).

O conceito de campo conceitual na teoria de Vergnaud é bastante abrangente. É possível falar, por exemplo, em campos conceituais como a Mecânica Clássica, a Mecânica Quântica e a Mecânica Relativística, no campo da Física. Do mesmo modo, podemos nos referir aos campos conceituais associados às estruturas multiplicativas e aditivas dentro do campo da Matemática, como faz Vergnaud. Podemos falar ainda, como pretende o presente trabalho, no campo conceitual associado à modelagem científica no que se refere às Ciências Naturais e à Física em particular. Contudo, não se quer dizer que o conhecimento científico está organizado em unidades conceituais independentes, senão que é preciso fazer recortes do real, justamente, pela impossibilidade de estudar as coisas separadamente. É nesse sentido que “Vergnaud considera o campo conceitual como uma unidade de estudo para dar sentido às dificuldades observadas na conceitualização do real” (ibid., 10).

Para progredir em um campo conceitual o indivíduo deve dominar uma gama de conceitos de naturezas distintas, ações, modos de raciocínio e representações de tipos diferentes, tudo de modo interconectado. Entretanto, Vergnaud entende que os conceitos não podem ser reduzidos a definições na medida em que estamos interessados na sua aprendizagem e no seu ensino. Para ele, é por meio de situações e de problemas que os conceitos ganham sentido. Assim, os conceitos são formados por um triplo de conjuntos, $C = (S, I, R)$, em que: S é o conjunto de situações que dão sentido ao conceito C ; I é o conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) que permite aos indivíduos operacionalizar o conceito de modo a lidar com as situações que compõem o conjunto S ; e R é o conjunto de representações simbólicas necessárias para indicar e representar o conjunto I de invariantes e, por conseqüência, as situações que dão sentido ao conceito. “O primeiro conjunto – de

situações – é o *referente* do conceito, o segundo – de invariantes operatórios – é o *significado* do conceito, enquanto o terceiro – de representações simbólicas – é o *significante*.” (ibid., 11).

Na medida em que são as situações que dotam os conceitos de sentido parece razoável identificá-las como sendo os “portões de entrada” do campo conceitual. O sentido que Vergnaud emprega ao conceito de situação é o de tarefa e não o de situação didática como na teoria de Brousseau (VERGNAUD, 1993). Uma situação complexa pode ser entendida como uma combinação de subtarefas de menor complexidade que devem ser concluídas sob certas circunstâncias (em determinado prazo, por exemplo) e cujos desempenhos afetam o desempenho como um todo. Mais especificamente, uma situação pode ser entendida “como um dado complexo de objetos, propriedades e relações num espaço e tempo determinados, envolvendo o sujeito e suas ações” (FRANCHI, 1999, p. 158). Vergnaud atribui para as situações, ainda, um sentido comumente empregado pelos psicólogos, a saber: “os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com que ele se confronta” (VERGNAUD, 1993, p. 12). Resulta daí, duas idéias importantes: a de variedade e a da história.

[...] em um certo campo conceitual existe uma grande variedade de situações e os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que encontram e progressivamente dominam, particularmente pelas primeiras situações suscetíveis de dar sentido aos conceitos e procedimentos que queremos que aprendam (MOREIRA, 2004b, p. 11).

Entretanto, o sentido atribuído aos conceitos não está propriamente nas situações nem mesmo na representação simbólica desses conceitos. O sentido está na interação do sujeito com as situações e com os significantes. Em outras palavras, são os esquemas utilizados pelo sujeito frente às situações ou aos significantes que dão sentido a ambos para esse sujeito. Contudo, uma determinada situação ou representação simbólica não é capaz de evocar todos os esquemas disponíveis no repertório do sujeito para tratar com aquela situação ou representação em particular. Mais precisamente, Vergnaud entende um esquema como “uma organização invariante do comportamento para uma classe de situações determinada.” (VERGNAUD, 1996, p. 201). O conceito piagetiano de esquema torna-se, assim, fundamental na teoria dos campos conceituais uma vez que o desenvolvimento cognitivo consiste basicamente do repertório de esquemas que o sujeito tem a sua disposição para enfrentar uma determinada quantidade de situações, tratando-as como problemas passíveis de serem resolvidos. Nesse sentido, a tarefa mais importante do professor é a de “fornecer

oportunidades para as crianças desenvolverem seus esquemas potenciais na zona de desenvolvimento proximal.” (VERGNAUD, 1998, p. 181).

Para Vergnaud, os esquemas estão intrinsecamente ligados às situações (ou classes de situações). Assim, ele distingue entre:

a) classes de situações em que o sujeito dispõe, no seu repertório, em dado momento de seu desenvolvimento e sob certas circunstâncias, das competências necessárias ao tratamento relativamente imediato da situação; e b) classes de situações em que o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias, o que o obriga a um tempo de reflexão e exploração, a hesitações, a tentativas frustradas, levando-o eventualmente ao sucesso ou ao fracasso (VERGNAUD, 1993, p. 2).

O conceito de esquema diz respeito às duas classes de situações. Contudo, seu modo de funcionamento difere de uma classe para a outra. No primeiro caso, é possível observar um único esquema de organização do comportamento, amplamente automatizado, dando conta de uma determinada classe de situações. Já no segundo caso, observa-se o uso de vários esquemas na tentativa de alcançar a solução esperada. Nesse processo, que pode resultar numa competição de esquemas, os mesmos sofrem contínuas acomodações, descombinações e recombinações. Segundo Moreira:

Está aí a idéia piagetiana de que os esquemas estão no centro do processo de adaptação das estruturas cognitivas, isto é, na assimilação e na acomodação. Contudo, Vergnaud dá ao conceito de esquema um alcance muito maior do que Piaget e insiste em que os esquemas devem relacionar-se com as características das situações às quais se aplicam (MOREIRA, 2004b, p. 13-14).

Embora o conceito de esquema possua definição precisa na teoria de Vergnaud é necessário aprofundar sua discussão, senão pela importância teórica que possui no vínculo entre o comportamento e a representação, pelo simples fato de que “é nos esquemas que se devem pesquisar os conhecimentos-em-ação do sujeito, isto é, os elementos cognitivos que fazem com que a ação do sujeito seja operatória” (VERGNAUD, 1993, p. 2). Estes conhecimentos contidos implicitamente nos esquemas são designados pelos termos conceito-em-ação e teorema-em-ação. São também conhecidos pela expressão geral *invariantes operatórios*. “Um teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real. Um conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como pertinente” (VERGNAUD, 1996, p. 202). Os invariantes operatórios contidos nos esquemas são responsáveis pelo reconhecimento dos elementos relevantes à situação. A partir dessa informação é possível inferir a meta a ser atingida e as regras de ação necessárias para tal fim.

Entretanto, os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação não são tidos como verdadeiros conceitos e teoremas científicos, uma vez que estes são explícitos e, por isso, podem sofrer questionamentos quanto à sua pertinência e veracidade. Esse não é o caso dos invariantes operatórios que, por sua vez, permanecem, na maioria das vezes, totalmente implícitos nos esquemas disponíveis do sujeito.

Cabe ao ensino de Ciências facilitar a transformação desse conhecimento implícito em conhecimento explícito, e cientificamente aceito, o que não ocorre de maneira abrupta e que de forma alguma é tarefa das mais simples. O professor e a interação social entre alunos desempenham papéis fundamentais nesse processo de explicitação e compartilhamento do conhecimento (MOREIRA, 2004b).

4 OBJETO DE ESTUDO E METODOLOGIA

Neste capítulo apresentamos o objeto de estudo e a metodologia de pesquisa que foi desenvolvida na realização deste trabalho.

4.1 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo deste trabalho de pesquisa consiste na investigação de uma estratégia didática, elaborada na forma de um curso a distância, que pretende introduzir noções epistemológicas contemporâneas, imbricadas com conteúdos de Física, de modo a favorecer o domínio do campo conceitual associado à modelagem científica por parte dos professores de Física do ensino médio.

Partindo desta perspectiva, dedicamos esforços na busca por evidências que demonstrassem, por parte dos professores de Física, participantes do curso a distância, avanços no domínio do campo conceitual da modelagem científica e, mais precisamente, dos aspectos conceituais subjacentes à noção de modelo científico, tais como: a) idealização; b) aproximação; c) referente; d) variável; e) parâmetro; f) domínio de validade; g) grau de precisão; h) expansão; e i) generalização.

4.2 METODOLOGIA

Nesta seção, apresentamos o enfoque metodológico de pesquisa, os participantes que fizeram parte do estudo, a estratégia didática que foi adotada para alcançar os objetivos propostos e os instrumentos para a coleta e a análise dos dados obtidos durante a investigação.

4.2.1 Enfoque metodológico de pesquisa

Tendo em vista os objetivos a serem alcançados neste trabalho, o enfoque metodológico adotado para a realização desta pesquisa é de natureza qualitativa.

A pesquisa qualitativa é, sobretudo, participativa, naturalista e interpretativa. Segundo André (1998), a pesquisa qualitativa é participativa porque se realiza mediante a observação participativa do pesquisador no local onde o fenômeno de interesse ocorre

naturalmente. É naturalista porque não envolve manipulação de variáveis, nem tratamento experimental. E é interpretativa porque seu objetivo principal está em se chegar a uma interpretação dos significados atribuídos pelos participantes a suas ações.

Na pesquisa qualitativa as hipóteses de trabalho são geradas ao longo do processo investigativo, ou seja, é durante a observação participativa que o pesquisador delimita com maior especificidade as questões e as hipóteses de pesquisa. Nesse caso, não se trata de testar hipóteses pré-concebidas. A busca é por universais concretos que deverão ser alcançados pelo estudo profundo de casos particulares e da sua confrontação com outros casos estudados também com profundidade.

Segundo Erickson (1986), há vários tipos de pesquisa qualitativa que constituem a família de abordagens à pesquisa educacional de cunho interpretativo. Dentre estas, destacamos a pesquisa do tipo etnográfica e o estudo de caso.

A pesquisa do tipo etnográfica faz uso das técnicas utilizadas tradicionalmente na etnografia, ou seja, da observação participante, da entrevista intensiva e da análise de documentos. A observação é chamada de participante porque parte do princípio de que o pesquisador tem sempre um grau de interação com a situação estudada, afetando-a e sendo por ela afetado. As entrevistas têm a finalidade de aprofundar as questões e esclarecer os problemas observados. Os documentos são usados no sentido de contextualizar o fenômeno, explicitar suas vinculações mais profundas e completar as informações coletadas através de outras fontes. Aqui o importante não é testar hipóteses formuladas previamente, mas caracterizar o fenômeno, buscar entendimentos para o que está acontecendo em cada momento da pesquisa e compreender de que forma a situação estudada evolui. Para isto o pesquisador deve tentar apreender e retratar a visão pessoal dos participantes. A preocupação é com o significado, com a maneira que as pessoas vêem a si mesmas.

O estudo de caso busca retratar a realidade de forma profunda e mais completa possível, enfatizando a interpretação ou a análise do objeto, no contexto em que ele se encontra. Dependendo das questões de investigação e do interesse do pesquisador, o estudo de caso pode assumir uma perspectiva mais etnográfica ou interpretativa, assemelhando-se à pesquisa do tipo etnográfico. Esta abordagem busca investigar e interpretar o caso como um todo orgânico, uma unidade em ação com dinâmica própria, mas que guarda forte relação com

seu entorno ou contexto sociocultural. O estudo de caso etnográfico permite, assim, compreender melhor a manifestação geral de um problema, as ações, as percepções, os comportamentos e as interações das pessoas relacionadas à situação específica onde ocorrem ou à problemática que estão ligadas. Em síntese, o estudo de caso etnográfico é mais apropriado quando: a) se está interessado numa instância em particular, isto é, numa determinada instituição, numa pessoa ou num específico programa ou currículo; b) se deseja conhecer essa instância particular em sua complexidade e em sua totalidade; c) se estiver mais interessado naquilo que está ocorrendo e em como está ocorrendo do que nos seus resultados; e d) se quer retratar o dinamismo de uma situação numa forma muito próxima do seu acontecer natural.

Tendo em vista nosso objeto de estudo, adotamos um enfoque metodológico semelhante àquele utilizado em estudos de caso de cunho interpretativo, porém sem a duração prolongada, característica destes. Entre outros fatores, a disponibilidade de tempo dos professores participantes não permitiu que atendêssemos de modo completamente satisfatório este último quesito. Contudo, longe de inviabilizar nosso trabalho, consideramos a investigação realizada como um primeiro estudo, do tipo exploratório, no qual buscamos analisar o processo de conceitualização associado à noção e ao uso de modelos científicos por parte dos professores de Física.

4.2.2 Participantes

Após a divulgação do curso a distância por ocasião do II Encontro Estadual de Ensino de Física – RS, realizado na cidade de Porto Alegre, entre os dias 13 e 15 de setembro de 2007, 43 participantes efetuaram inscrição. Destes, foram selecionados 20 participantes com o seguinte perfil: professor de Física do ensino médio com dificuldades profissionais em participar de um curso presencial de formação continuada.

Entretanto o curso iniciou somente com 18 participantes. Esta amostra incluía sete homens e onze mulheres, com uma média de idade de aproximadamente 36 anos (faixa 25 – 53). Quanto à formação inicial dos participantes, dez haviam concluído o curso de Licenciatura Plena em Física, cinco estavam por concluir e, entre os demais, dois haviam concluído o curso de Licenciatura Plena em Matemática e um havia concluído o curso de Licenciatura Plena em Química.

Dos 18 participantes que iniciaram o curso, somente oito conseguiram terminá-lo. Em função disso, os participantes deste estudo foram oito professores de Física interessados na sua atualização profissional. Destes, somente um participante não estava exercendo a função de professor de Física à época do estudo. Quanto aos demais, três professores estavam lecionando na capital Porto Alegre, um professor na região metropolitana e três professores no interior do estado do Rio Grande do Sul.

4.2.3 Proposta didática

Como dito anteriormente, este trabalho de pesquisa consistiu na elaboração e na investigação de uma proposta didática, voltada para professores de Física do ensino médio, implementada na forma de um curso a distância, intitulado *Fenômenos físicos e modelos científicos* (FFMC). A opção por esta modalidade de ensino foi deliberadamente a de aproximar este público-alvo do meio acadêmico em face das dificuldades profissionais que os professores enfrentam para participar de um curso presencial.

Para a implementação da infra-estrutura virtual do curso FFMC, utilizamos dois *softwares*: o Ambiente de Ensino a Distância TelEduc (TelEduc) e a ferramenta de informação e comunicação *Macromedia Breeze Meeting Server* (MBMS).

O TelEduc é um *software* livre criado pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) que permite a realização de cursos através da Internet e que pode ser redistribuído e modificado sob os termos da *GNU General Public License*. Na UFRGS, a versão 3.3.8 do *software* TelEduc está instalada no Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação (CINTED). Nossos objetivos ao utilizar este *software* foram dois: primeiramente, atingir o público-alvo desejado; e segundo, promover a comunicação de modo assíncrono entre o ministrante e os participantes do curso, além de propiciar o acesso dos últimos aos recursos e materiais didáticos utilizados e às tarefas propostas, através das ferramentas disponíveis neste ambiente.

Ainda quanto ao TelEduc, nossos esforços foram no sentido de torná-lo um ambiente virtual de aprendizagem que, na concepção de Pires e Veit (2006), deve ser composto de uma plataforma de educação a distância, de material potencialmente significativo para a

aprendizagem de determinado conteúdo e de estímulos e usos que se faz de ambos para propiciar a interação do estudante-professor, estudante-estudante e estudante-objeto de conhecimento.

Para tanto, contamos com os recursos disponíveis no ambiente, tais como: a) fóruns de discussão, onde foram estimulados e realizados debates entre os participantes mediante a introdução de questões relacionadas ao conteúdo e às tarefas propostas; b) portfólios individuais, onde os participantes mantinham os registros de suas tarefas realizadas; e c) um serviço de correio eletrônico interno ao ambiente para a comunicação entre os participantes e destes com o professor. A Figura 4 ilustra a tela de abertura do ambiente TelEduc. À esquerda, é possível visualizar as diversas ferramentas que o ambiente disponibiliza para o formador (ministrante) e os alunos do curso FFMC.

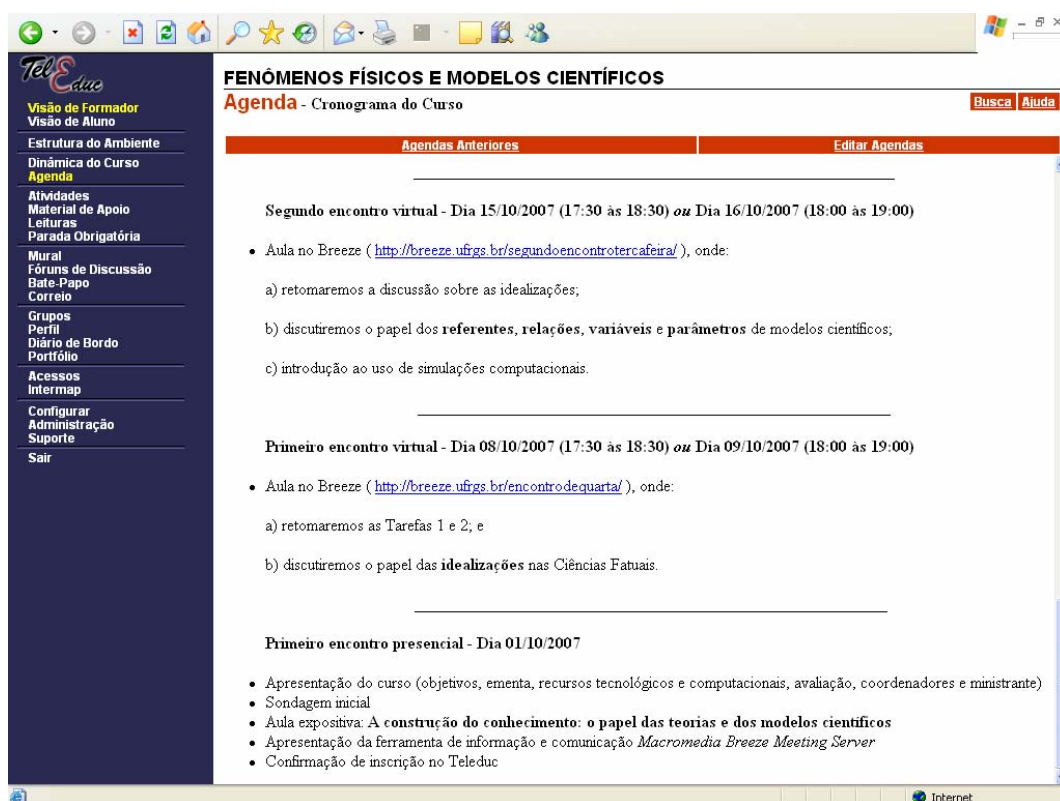


Figura 4 – Tela ilustrativa de abertura do ambiente TelEduc.

Já o MBMS é um *software* comercial criado pela empresa Macromedia, atualmente Adobe Systems, com o objetivo de ser um sistema de videoconferência com múltiplos usuários que possibilita o compartilhamento de aplicações, apresentação de *slides*, uso concorrente de quadro branco, quadro de notas, ferramenta de conversação (do tipo *chat*) e

gravação de sessões de videoconferência para posterior re-exibição. Este *software* foi contratado pela UFRGS e está disponível a todos os professores e servidores da universidade, previamente cadastrados, que desejem fazer uso de suas potencialidades. Depois de criar uma reunião, basta que o usuário cadastrado envie um *e-mail* aos seus convidados contendo um *link* para acesso à tela de *login* da reunião criada. Nosso objetivo ao utilizar este *software* foi o de promover a comunicação de modo síncrono entre o ministrante e os participantes do curso. Mais especificamente, o MBMS foi utilizado como suporte para as aulas virtuais em horários previamente agendados no TelEduc. A Figura 5 apresenta um instantâneo da tela da gravação da primeira aula virtual realizada no MBMS. À esquerda, na janela superior, é possível visualizar o ministrante do curso. A janela logo abaixo mostra os participantes presentes naquele momento da aula virtual. E a janela mais abaixo, ainda, mostra as intervenções de cada participante. À direita da tela, é possível visualizar um *slide* da apresentação em *Power Point* preparada para a primeira aula virtual.

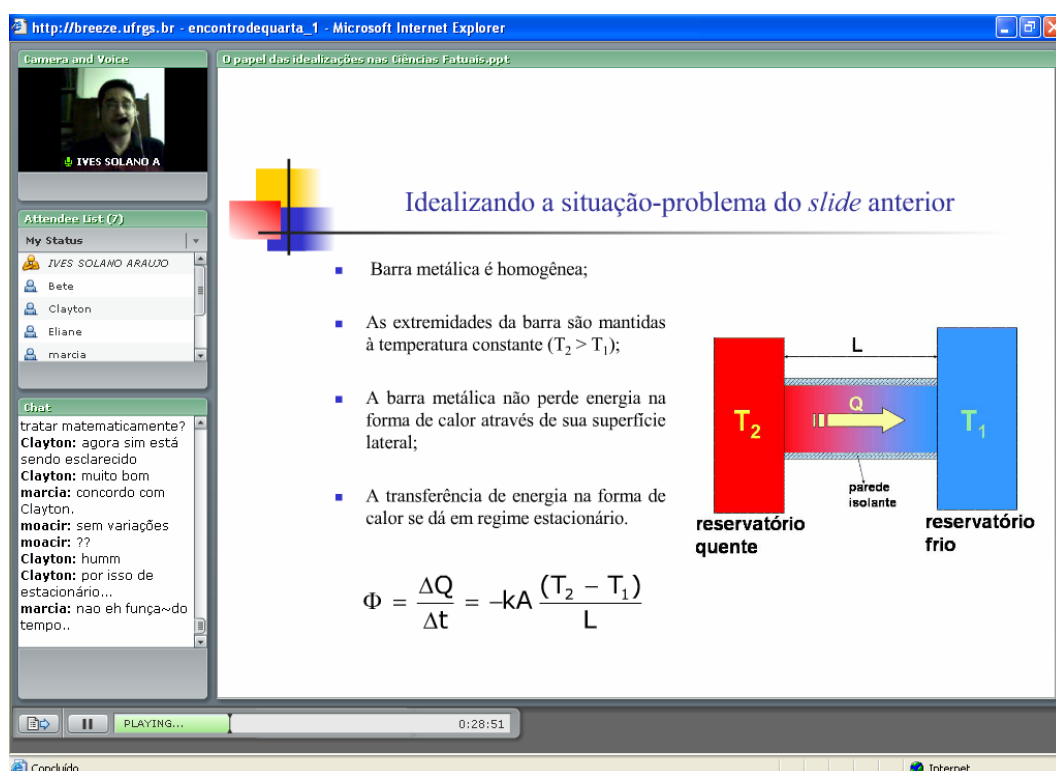


Figura 5 – Tela ilustrativa da ferramenta *Macromedia Breeze Meeting Server*.

Durante o curso, os participantes foram incentivados a ler os textos de apoio, a participar das aulas virtuais no MBMS e a debater questões relacionadas ao conteúdo nos fóruns de discussão do TelEduc. Ao final do curso, subsidiado pelas tarefas realizadas individualmente e pelas discussões nos fóruns, cada participante deveria elaborar o seu

projeto final. Nesse sentido, a avaliação do tipo formativa teve um papel importante no andamento do curso. Nossos esforços foram no sentido de fornecer uma resposta, a mais rápida possível, tanto de incentivo quanto de cobrança dos participantes num efetivo engajamento nas atividades do curso.

Quanto à elaboração dos textos de apoio, dedicamos esforços para que os mesmos fossem construídos em conformidade com algumas idéias de David Ausubel sobre aprendizagem significativa. Segundo Ausubel (2000), uma das condições para que a aprendizagem ocorra de forma significativa é que o material seja potencialmente significativo para aquele que aprende. Um material é dito potencialmente significativo na medida em que possui significado lógico e pode se relacionar com os conhecimentos prévios do aluno de forma não-arbitrária e não-literal. Além disso, enfocamos, sempre que possível, a exposição de novas idéias partindo do geral para o específico, noção esta expressa no conceito de diferenciação progressiva e, posteriormente, refazendo o caminho no sentido oposto, ou seja, voltando do específico para o geral, noção sintetizada no conceito de reconciliação integradora.

O curso FFMC iniciou no dia 01/10/2007 e teve as suas atividades encerradas no dia 23/11/2007, totalizando uma carga horária de quarenta horas distribuídas ao longo de oito semanas. Por isso, no ato da inscrição, os participantes foram avisados da necessidade de reservar, no mínimo, cinco horas-semanais para dedicarem-se ao curso. Esta carga horária semanal, por sua vez, foi distribuída da seguinte forma: a) uma hora em sessão síncrona (aula virtual), onde os participantes permaneceram em contato direto com o professor através da ferramenta de informação e comunicação MBMS; e b) quatro horas em sessão assíncrona, conforme sua disponibilidade de horários e acesso a Internet para a realização das tarefas propostas e participação nos fóruns de discussão no TelEduc. Além disso, foram realizados dois encontros presenciais: um no primeiro dia do curso e, o outro, na semana de seu encerramento.

De forma a dar uma visão geral de como se desenvolveu o curso FFMC ao longo das oito semanas, a Tabela 2 apresenta para cada uma delas: a modalidade de ensino envolvida, os tópicos abordados, as atividades desenvolvidas, o material utilizado e o tempo mínimo previsto para a realização das atividades. A seguir, detalharemos cada uma das oito semanas do curso.

Tabela 2 – Uma visão geral do curso a distância.

Sem.	Data	Modal.	Tópico	Atividade	Material	T
1 ^a	01/10	Presencial	1) Apresentação da infraestrutura virtual do curso (TelEduc e MBMS); 2) Sondagem sobre modelo, teoria e conhecimento científico; 3) Visão geral sobre a natureza da Ciência: o papel das teorias e dos modelos científicos.	1) Assistir à apresentação do ambiente TelEduc e da ferramenta MBMS; 2) Responder o questionário inicial; e 3) Assistir à aula presencial “A construção do conhecimento: o papel das teorias e dos modelos científicos”.	1) Apresentação em <i>Power Point</i> do curso; 2) Questionário inicial; e 3) Apresentação em <i>Power Point</i> da aula.	3 h
	01/10 a 07/10	Virtual assíncrona	Noção de modelo em Ciências.	1) Tarefa 1; 2) Tarefa 2; 3) Fórum de discussão 1; e 4) Fórum de discussão 2.	Textos de apoio nº 1 e nº 2.	2 h
2 ^a	08/10 e 09/10	Virtual síncrona	Idealizações e aproximações.	Assistir à primeira aula virtual “O papel das idealizações nas Ciências Físicas”.	Apresentação em <i>Power Point</i> .	1 h
	08/10 a 14/10	Virtual assíncrona		1) Tarefa 3; 2) Tarefa 4; 3) Fórum de discussão 3; e 4) Fórum de discussão 4.	Texto de apoio nº 3.	4 h
3 ^a	15/10	Virtual síncrona	Referentes, relações, variáveis e parâmetros de modelos científicos.	Assistir à segunda aula virtual “Referentes, relações, variáveis e parâmetros de modelos científicos”.	Apresentação em <i>Power Point</i> .	1 h
	15/10 a 21/10	Virtual assíncrona		1) Tarefa 5; e 2) Tarefa 6.	1) Texto de apoio nº 4; e 2) Simulações computacionais sobre colisões e ótica.	4 h
4 ^a	22/10	Virtual síncrona	Retomando conceitos sobre modelos científicos.	1) Assistir à terceira aula virtual “Retomando conceitos sobre modelos científicos”; e 2) Realização da tarefa “Modelando o ato de caminhar” em conjunto com os professores.	Apresentação em <i>Power Point</i> .	1 h
	22/10 a 28/10	Virtual assíncrona		1) Tarefa 7; e 2) Tarefa 8.	Texto de apoio nº 5.	4 h
5 ^a	29/10	Virtual síncrona	Resultados teóricos × resultados empíricos.	1) Assistir à quarta aula virtual “Resultados teóricos × resultados empíricos”; e 2) Realização de atividade com o <i>software</i> Tracker.	1) Apresentação em <i>Power Point</i> ; e 2) <i>Software Tracker</i> .	1 h
	29/10 a 04/11	Virtual assíncrona		1) Tarefa 9; e 2) Fórum de discussão 5.	Simulação computacional sobre conservação de energia.	4 h
6 ^a	05/11	Virtual síncrona	1) Domínio de validade e grau de precisão de modelos científicos; e 2) Expansão e generalização de modelos científicos.	Assistir à quinta aula virtual “Domínio de validade, grau de precisão, expansão e generalização de modelos científicos”.	Apresentação em <i>Power Point</i> .	1 h
	05/11 a 11/11	Virtual assíncrona		Tarefa 10.	1) Texto de apoio nº 6; e 2) Simulações computacionais sobre modelos atômicos.	4 h
7 ^a	12/11	Virtual síncrona	Projeto final.	Assistir à sexta aula virtual “Elaboração do projeto final”.	Apresentação em <i>Power Point</i> .	1 h
	12/11 a 18/11	Virtual assíncrona		Elaboração de material instrucional para uma atividade de 2 horas-aula.	Todo o tipo de material que os alunos julgarem necessários.	4 h
8 ^a	19/11	Presencial	Realização da entrevista.	Comparecimento à entrevista.		1 h
	19/11 a 23/11	Virtual assíncrona	Projeto Final.	Elaboração de material instrucional para uma atividade de 2 horas-aula.	Todo o tipo de material que os alunos julgarem necessários.	4 h

No primeiro encontro presencial, ocorrido no dia 01/10, os professores foram apresentados ao ministrante⁴ e à infra-estrutura virtual do curso, ou seja, aos *softwares* TelEduc e MBMS. Em seguida, os dezessete alunos presentes⁵ no encontro responderam ao Questionário Inicial (QI), disponível no Apêndice A, sobre modelo, teoria e conhecimento científico. Com a aplicação deste questionário pudemos obter uma primeira impressão a respeito da concepção dos professores sobre a Ciência em geral. Após, o curso teve início com a aula presencial “A construção do conhecimento: o papel das teorias e dos modelos científicos”. Além disso, este primeiro encontro presencial serviu para agendar os horários de realização das aulas virtuais no MBMS. Ficou combinado que a sessão síncrona semanal ocorreria em dois horários alternativos: às segundas-feiras, das 17h30min às 18h30min, e às terças-feiras, das 18h às 19h. Ou seja, a cada semana, os professores tinham a opção de assistir a mesma aula em dois horários distintos, conforme sua disponibilidade de horários. Adicionalmente, o MBMS permite que as aulas sejam gravadas. Isso possibilitou aos professores que eventualmente não puderam participar de alguma sessão síncrona, assistir (ou re-assistir) a aula daquela semana. Ao final do encontro, foram entregues os textos de apoio nº 1 e nº 2, disponíveis no Apêndice C.

Durante a primeira semana do curso, de 01/10 a 07/10, os professores foram estimulados a realizarem as Tarefas 1 e 2 (Apêndice B) e a participarem dos Fóruns de discussão 1 e 2 (Apêndice D) no TelEduc. A Tarefa 1 consistiu na interpretação de um texto extraído da obra de Gaspar (2000), no qual o autor expõe suas idéias sobre modelos no contexto da Ciência. Após a leitura do texto, os professores deveriam se posicionar a respeito das idéias apresentadas pelo autor. Já a Tarefa 2 continha cinco situações do mundo real de interesse da Física que deveriam ser problematizadas com a formulação de uma ou mais questões-foco interessantes sobre as mesmas. Em seguida, foi solicitado aos professores que propusessem modelos científicos capazes de auxiliar na busca por respostas às questões-foco formuladas por eles. Em ambas as tarefas, nossos objetivos de pesquisa foram obter evidências sobre a concepção de modelo em Ciências por parte dos professores. Os correspondentes objetivos de ensino estão disponíveis no Apêndice B. No Fórum de discussão 1 (FD-1), novamente, foi apresentado um trecho extraído da obra de Gaspar (2000), no qual o autor expõe sua concepção sobre grandezas físicas. No FD-1 os professores deveriam justificar o seu posicionamento em relação ao texto. No Fórum de discussão 2 (FD-2), foi

⁴ O ministrante do curso foi o próprio autor desta dissertação.

⁵ Por motivos particulares, um aluno não esteve presente ao primeiro encontro presencial.

apresentado um trecho extraído da obra de Bonjorno et al. (1997), no qual os autores expõem suas idéias sobre a forma como a Ciência produz o seu conhecimento. No FD-2 os professores deveriam justificar o seu posicionamento frente ao texto lido. Em ambos os fóruns, nossos objetivos de pesquisa foram obter evidências sobre a concepção de Ciência por parte dos professores.

Na primeira sessão síncrona⁶, ocorrida nos dias 09/10 e 10/10, os alunos assistiram à aula “O papel das idealizações nas Ciências Fatais”. Além disso, foram retomadas as Tarefas 1 e 2 da semana anterior. Embora a duração prevista para as aulas virtuais tenha sido de uma hora, na maioria das vezes, as sessões extrapolaram o tempo previsto em, aproximadamente, 30 minutos.

Durante a segunda semana do curso, de 08/10 a 14/10, os professores foram incentivados a realizarem as Tarefas 3 e 4 e a participarem dos Fóruns de discussão 3 e 4. Na Tarefa 3, o fenômeno físico de interesse refere-se ao movimento dos corpos, do ponto de vista da Cinemática. Seu enunciado contextualiza este fenômeno ao descrever a situação de um caminhão atravessando uma ponte. A partir dessa contextualização foram formuladas algumas questões. Nosso objetivo de pesquisa foi no sentido de obter evidências sobre a concepção dos professores a respeito do conceito de idealização e suas implicações físicas. Na Tarefa 4, o fenômeno físico de interesse foi, novamente, o movimento dos corpos, do ponto de vista da Cinemática. Seu enunciado contextualiza este fenômeno ao descrever uma jogada típica do jogo de voleibol. A partir dessa contextualização foram feitas algumas questões. Nosso objetivo de pesquisa foi no sentido de obter evidências sobre a concepção dos professores a respeito do conceito de aproximação, e de idealização.

Na segunda sessão síncrona, ocorrida nos dias 15/10 e 16/10, os professores assistiram à aula “Referentes, relações, variáveis e parâmetros de modelos científicos”. Neste encontro virtual, foi retomada a discussão sobre o conceito de idealização de modo a integrá-lo aos novos conceitos. Nesse sentido, nossos esforços foram sempre no sentido de alargar a noção de modelo científico dos professores de modo a incluir novos conceitos de maneira

⁶ No dia 08/10, o MBMS apresentou problemas técnicos que impediram a realização da primeira aula virtual. Em função das dificuldades, a aula de segunda-feira (08/10) foi transferida para terça-feira (09/10) e, conseqüentemente, a aula de terça-feira foi transferida para quarta-feira (10/10). Os horários foram mantidos.

interconectada. Além disso, debateu-se o uso de simulações computacionais no ensino de Física.

Durante a terceira semana do curso, de 15/10 a 21/10, os professores foram estimulados a realizarem as Tarefas 5 e 6 envolvendo o uso de simulações computacionais. Nesta semana não foram propostas questões para serem debatidas em fóruns de discussão. A Tarefa 5 trata de uma simulação computacional envolvendo o fenômeno físico da colisão entre corpos. Já a Tarefa 6 trata de uma simulação computacional que envolve o fenômeno físico da conjugação de imagens por espelhos e lentes esféricas. Nosso objetivo de pesquisa, ao propor estas duas tarefas, foi obter evidências sobre a compreensão, por parte dos professores, dos conceitos de idealização, referente, variável e parâmetro envolvidos no modelo teórico subjacente à implementação da simulação computacional.

Na terceira sessão síncrona, ocorrida nos dias 22/10 e 23/10, os professores assistiram à aula “Retomando conceitos sobre modelos científicos”. Nestes encontros virtuais, retomamos os conceitos que haviam sido trabalhados nas três semanas anteriores, a saber: idealização, aproximação, referente, variável e parâmetro de modelos científicos e, em seguida, realizamos a tarefa “Modelando o ato de caminhar”, na qual construímos um modelo capaz de fornecer respostas às questões formuladas, em conjunto, pelos professores sobre o ato de caminhar de uma pessoa. Com base num conjunto de hipóteses e idealizações, representamos as pernas de uma pessoa caminhando por um sistema físico constituído de dois pêndulos simples. A partir desta representação esquemática, calculamos a velocidade típica de caminhada de uma pessoa, considerando algumas aproximações numéricas. A solução encontrada permitiu uma série de questionamentos, tais como: o que fazer para andar mais depressa? Passadas largas são mais eficazes do que passadas curtas?

Durante a quarta semana do curso, de 22/10 a 28/10, os professores foram incentivados a realizarem as Tarefas 7 e 8. Nesta semana não foram propostas questões para serem debatidas em fóruns de discussão. A Tarefa 7 consistiu da leitura do Texto de Apoio nº 5, “Confrontando teoria e realidade: a adequação dos resultados teóricos de modelos científicos aos dados empíricos”, como pré-requisito para a aula virtual da semana seguinte. Na Tarefa 8, para o fenômeno de interesse da conservação de energia, os professores foram encorajados a: a) proporem uma situação-problema e formularem questões-foco; b) idealizarem a situação real de modo a construírem um modelo conceitual; c) selecionarem os

referentes, as relações, as variáveis e os parâmetros adequados para a construção de um modelo teórico; e d) proporem uma solução ao problema. Nossos objetivos de pesquisa, ao propormos uma tarefa semelhante àquela realizada em conjunto, foram obter evidências das dificuldades que os professores enfrentam na tentativa de solucionar uma situação-problema, explicitando os conceitos trabalhados.

Na quarta sessão síncrona, ocorrida nos dias 29/10 e 30/10, os professores assistiram à aula “Resultados teóricos × resultados empíricos”. Nestes encontros virtuais retomamos a discussão das Tarefas 5 e 6, debatemos as idéias do texto de apoio previamente lido e trabalhamos com o *software* Tracker⁷. O Tracker é um *software* livre criado por Douglas Brown com o objetivo de ser um pacote (conjunto de programas) para análise de vídeo que permite o ajuste de modelos teóricos aos dados obtidos, por exemplo, para a posição, a velocidade e a aceleração de objetos em movimento. Como dito anteriormente, uma das potencialidades do MBMS é permitir o compartilhamento de aplicativos com os demais usuários. A Figura 6 apresenta uma tela da gravação da quinta aula virtual no MBMS. Nestas sessões síncronas, discutiu-se o ajuste de funções matemáticas, em vista dos pressupostos teóricos, aos dados obtidos da análise do vídeo, com o *software* Tracker, em que uma bola de pingue-pongue é lançada obliquamente.

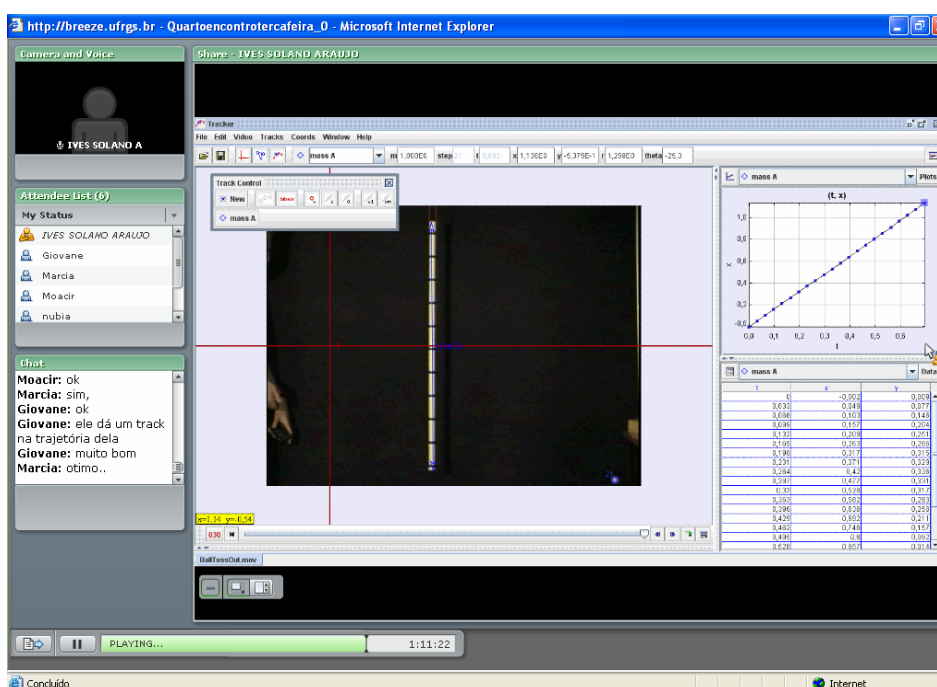


Figura 6 – Tela ilustrativa do *software* Tracker sendo trabalhado dentro do MBMS.

⁷ O *software* Tracker está disponível na *web* em: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker>.

Durante a quinta semana do curso, de 29/10 a 04/11, os professores foram estimulados a realizarem a Tarefa 9 e a participarem do Fórum de discussão 5 (FD-5). Na Tarefa 9, o fenômeno físico de interesse foi o movimento de queda de um corpo rígido. Nosso objetivo de pesquisa, ao propor esta tarefa, foi obter evidências sobre a compreensão dos professores a respeito do papel das teorias e dos modelos científicos na interpretação de resultados experimentais. Já no FD-5, foi proposto o uso de uma simulação computacional que trata do princípio da conservação de energia mecânica. Nosso objetivo de pesquisa, ao propor esta tarefa, foi obter evidências sobre a compreensão dos professores a respeito dos conceitos de idealização (e/ou aproximação), referente, variável e parâmetro, subjacentes à simulação computacional.

Na quinta sessão síncrona, ocorrida nos dias 05/11 e 06/11, os professores assistiram à aula “Domínio de validade, grau de precisão, expansão e generalização de modelos científicos”. Nestes encontros virtuais foi retomada a discussão da confrontação entre os resultados teóricos e experimentais de modo a estabelecer relações entre os conceitos envolvidos na construção de modelos teóricos e aqueles relacionados à análise da razoabilidade dos resultados teóricos.

Durante a sexta semana do curso, de 05/11 a 11/11, os professores foram incentivados a realizarem a Tarefa 10. Nesta semana não foram propostas questões para serem debatidas nos fóruns de discussão. A Tarefa 10 discute o conceito de expansão de modelos científicos. Mais precisamente, envolve a exploração de duas simulações computacionais sobre modelos atômicos. Os objetivos de ensino relativos a esta tarefa constam no Apêndice B.

Na sexta sessão síncrona, ocorrida nos dias 12/11 e 13/11, os professores assistiram à aula “Elaboração do projeto final”. O Projeto Final foi pensado com o objetivo de que os participantes: a) pudessem, por si sós, dar-se conta do que realmente aprenderam ao longo do curso; e b) experimentassem as dificuldades em preparar uma atividade para os estudantes de ensino médio, enfatizando os aspectos conceituais estudados sobre modelos científicos. Cabe ressaltar que os professores não precisavam implementar em sala de aula a atividade proposta no projeto a ser elaborado.

Durante a sétima semana do curso, de 12/11 a 18/11, os professores foram incentivados a elaborarem o Projeto Final. Este projeto deveria consistir na elaboração de uma atividade didática, voltada para estudantes de ensino médio, com duração de duas horas-aula, podendo versar sobre qualquer conteúdo de Física do ensino médio.

No segundo encontro presencial, ocorrido no dia 19/11, os professores compareceram, em horários previamente agendados no TelEduc, à entrevista realizada individualmente. Nossos objetivos com esta entrevista final, disponível no Apêndice E, foram obter evidências sobre possíveis avanços no domínio do campo conceitual associado à modelagem científica por parte dos professores de Física que concluíram o curso.

Durante a oitava semana do curso, de 19/11 a 23/11, os professores foram estimulados a concluírem o Projeto Final. Como dito anteriormente, o projeto deveria ser elaborado individualmente. Nesse sentido, os professores tiveram total liberdade para escolher o conteúdo da Física e os recursos e materiais didáticos a serem utilizados. Contudo, a atividade proposta não poderia deixar de enfatizar a discussão dos conceitos envolvidos na modelagem de fenômenos físicos através da proposição de situações-problema.

4.2.4 Instrumentos para a coleta e a análise dos dados

Tendo em vista que a busca por evidências que demonstrem possíveis avanços no domínio do campo conceitual associado à modelagem científica deve partir da perspectiva dos próprios professores, buscou-se uma interpretação dos significados das ações dos participantes ao longo das oito semanas do curso. Nesse sentido, esforços foram dedicados para oportunizar uma diversidade de situações (tarefas) relacionadas com problemas de modelagem e simulações computacionais em que os professores buscaram soluções para as mesmas. Esta foi uma das funções do pesquisador enquanto ministrante do curso. Por outro lado, o ministrante enquanto pesquisador observou, registrou e documentou todo o material possível de modo a reunir subsídios para uma interpretação dos dados com credibilidade. Este trabalho foi facilitado pelos recursos disponíveis no ambiente de ensino a distância TelEduc, visto que todo o material (discussões nos fóruns, tarefas realizadas e mensagens por correio eletrônico) ficou armazenado para posterior coleta e análise por parte do pesquisador. Além disso, ao final do curso, realizamos uma entrevista semi-estruturada, individualmente, com a

finalidade de aprofundar alguns questionamentos sobre os conceitos trabalhados ao longo do curso.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentamos os resultados obtidos em nosso trabalho de investigação. Na seção 5.1, para cada aluno que completou o curso a distância, num total de oito, faz-se, inicialmente, uma breve descrição da sua formação acadêmica e experiência profissional. Em seguida, são apresentadas algumas de suas concepções sobre modelos e teorias científicas, antes do início do curso. Após, são detalhadas as atividades desenvolvidas de modo assíncrono e apresentados os dados obtidos da Entrevista Final realizada por ocasião do último encontro presencial. Finalmente, passamos a comentários interpretativos, levando em consideração a sua participação nos encontros virtuais, com o objetivo de buscar evidências sobre possíveis avanços na aprendizagem do campo conceitual associado à modelagem científica por parte do aluno ao final do curso.

Na seção 5.2, apresentamos uma síntese dos resultados obtidos no curso a distância com os oito alunos. Para tanto, faremos um arrazoado em que reconheceremos algumas falhas, indicaremos o que no material de fato contribuiu positivamente, no que os alunos evoluíram, enfim, uma discussão geral dos resultados alcançados.

5.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Aluno 1:

Aos 32 anos de idade, o Aluno 1 está matriculado no curso de Licenciatura em Física em uma universidade privada, devendo concluí-lo ao término do primeiro semestre letivo de 2008. Não possui experiência didática, exceto a realização de estágio supervisionado com carga horária total de 20 horas em escola municipal. Atualmente trabalha em turno integral como técnico em manutenção mecânica de aeronaves, área em que possui 10 anos de experiência profissional.

A seguir, são apresentadas algumas de suas concepções sobre modelos e teorias científicas, e sobre a natureza da Ciência em geral, intercaladas a comentários interpretativos, a partir da análise de suas respostas ao Questionário Inicial (QI) aplicado na ocasião do primeiro encontro virtual. A Tabela 3 mostra as respostas do Aluno 1 às questões que compunham o QI.

Tabela 3 – Respostas do Aluno 1 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.

Questões	Respostas do Aluno 1
Q11	<i>Modelo científico pode ser entendido como um padrão para descrever uma certa realidade científica. Através de um modelo científico podemos traduzir de forma coerente as teorias, as leis e os princípios.</i>
Q12	<i>Teoria científica é aquela que não pode ser contestada. Um exemplo prático é a teoria da relatividade, porém, por outro lado vemos algumas teorias do comportamento humano (Freud) que são muito contestadas, e muitas delas foram invalidadas.</i>
Q13	<i>Verdade seria uma proposição que dá uma idéia de afirmação. Entendo que seja uma aproximação clara e precisa da realidade.</i>
Q14	<i>Tem como objetivo final gerar bens e serviços, mas para que isso seja possível, se faz necessário que os fenômenos científicos sejam assimilados e formalizados pelo pesquisador.</i>
Q15	<i>Quando não podemos provar que um determinado “conhecimento científico” não é verdadeiro, podemos dizer que ele não é científico, um exemplo prático é astrologia.</i>

A concepção de modelo científico do Aluno 1 parece estar associada à idéia de um padrão utilizado pela Ciência, que serve de exemplo ou norma, para avaliar a coerência das teorias, leis e princípios científicos na descrição da realidade. Quanto às teorias, entende que as científicas não podem dar margens a questionamentos, e cita como exemplo a Teoria da Relatividade de Einstein. Por outro lado, algumas teorias sofrem tantas contestações que acabam sendo invalidadas e não adquirem o status de conhecimento científico. Este, por sua vez, parece constituir-se de proposições sobre a realidade que podem ser verificadas e provadas. Com isto não basta que os cientistas forneçam explicações, é preciso que as mesmas sejam comprovadas e, conseqüentemente, aceitas pela comunidade científica. Em outros termos, o conhecimento científico é o conhecimento verdadeiro. Por último, em sua visão, o objetivo maior da Ciência é a geração de bens e serviços, ou seja, a produção de tecnologia.

Durante o curso, a participação do Aluno 1 pode ser resumida, em termos quantitativos, da seguinte forma: esteve presente aos 2 encontros presenciais e participou de 4 dos 6 encontros virtuais no *Macromedia Breeze Meeting Server* (MBMS). Na plataforma TelEduc, participou de 2 dos 6 fóruns de discussão, realizou 9 das 10 tarefas propostas e elaborou o projeto final. A seguir, serão detalhadas as atividades desenvolvidas pelo Aluno 1 de modo assíncrono (tarefas, fóruns de discussão e projeto final), mescladas a comentários interpretativos, ao longo das oito semanas do curso.

Na Tarefa 1, em que se discute a noção de modelo em Ciências a partir de trechos extraídos da obra de Gaspar (2000), o Aluno 1 concorda com a idéia do autor de que os

modelos servem de instrumentos para que o homem se aproxime da realidade, simulando-a nas situações em que se mostra inacessível a ele. Em suas palavras:

Pode ser entendido [o modelo] como uma simulação da realidade, já que esta em alguns casos não é possível expressá-la com clareza. Minha opinião não diverge muito do autor, pois vejo que os modelos servem para nos aproximar da realidade; os primeiros exemplos mostram que os modelos estavam bem fora da realidade, isto significa dizer que os modelos podem ser aprimorados. O autor fala que os modelos são utilizados quando não podemos observar a realidade diretamente (ALUNO 1).

Na Tarefa 2, perguntado sobre que modelo científico usaria ao tentar responder as questões por ele formuladas a respeito das 5 situações apresentadas em Física, o Aluno 1 propõe as respostas que constam na Tabela 4.

Tabela 4 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 1.

Situação (1)	Questões-foco	Modelo científico
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial.	<ul style="list-style-type: none"> Qual a pressão da água exercida no sistema de tubulação? O que acontece com a velocidade de escoamento da água se a pressão no interior da tubulação diminui? 	O aluno não forneceu nenhum modelo científico para esta situação em Física.
Condução de calor através de uma barra metálica.	<ul style="list-style-type: none"> Por que o processo de condução de calor não se propaga no vácuo? Como se processa a transferência de calor numa barra metálica? Quais os fatores que interferem na velocidade de transferência de calor de uma extremidade da barra a outra? 	Uma barra comprida e diâmetro pequeno com um maçarico p/ aquecer uma extremidade
Um automóvel fazendo uma curva.	<ul style="list-style-type: none"> Em qual parte da curva a aceleração centrípeta é maior? Como é possível determinar o valor do raio na trajetória desse automóvel? O carro estando com a velocidade escalar constante pode ter aceleração? 	Uma pedrinha presa a um barbante

Situação (1)	Questões-foco	Modelo científico
Um circuito elétrico constituído de uma bateria e lâmpadas associadas em paralelo.	<ul style="list-style-type: none"> Qual a corrente que passa na lâmpada e sua potência dissipada? Qual a resistência interna da bateria? Qual a DDP nos terminais da bateria? 	<p><i>I modelo – O fluido em movimento corresponde à corrente elétrica, os canos aos fios, os estreitamentos dos canos aos resistores, os reservatórios às baterias e a diferença de pressão (função da altura da água no reservatório) à diferença de potencial.</i></p> <p><i>II modelo - No segundo, a quantidade de pessoas que passa por um “portão” por unidade de tempo corresponde à corrente elétrica, o portão (passagem, saída) à resistência elétrica e a “força com que as pessoas se empurram” à diferença de potencial.</i></p>
Uma xícara de chá quente em temperatura ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> Quanto tempo leva para que o chá entre em equilíbrio térmico c/ temperatura ambiente? Qual a relação existente entre temperatura e a velocidade de agitação das moléculas? 	<p><i>Água gelada no ambiente</i></p>

Nota: A tabela apresentada aos alunos na Tarefa 2 continha um exemplo na primeira linha para dar uma idéia do tipo de resposta que se esperava.

(1) O cabeçalho da primeira coluna da tabela apresentada aos alunos na Tarefa 2 continha o termo “Situação-problema” em vez de “Situação”.

Na quarta linha da Tabela 4, em particular, evidencia-se a confusão entre modelo científico e o estabelecimento de analogias com situações familiares. Nas demais, o Aluno 1 procura caracterizar as situações apresentadas, propondo novas situações que, eventualmente, podem ser representadas pelo mesmo modelo científico.

Na segunda semana do curso, ao participar do Fórum de discussão 4 (FD-4), no qual foi solicitada uma pesquisa de citações sobre modelos científicos em livros de texto de Física em nível médio, o Aluno 1 demonstra indícios de que os modelos representam aproximações de situações reais. Na única citação que apresenta, escreve:

No capítulo 9, o autor trata sobre movimento uniforme e cita alguns exemplos como: uma gota d’água descendo por um tubo cheio de óleo, um ciclista em velocidade constante, a viagem de uma nave interplanetária, a subida ou descida de uma escada rolante. Assim que o autor cita estes exemplos para descrever o movimento uniforme, porém ele reforça a idéia afirmando que na prática os movimentos não são perfeitamente uniformes (ALUNO 1).

Na Tarefa 3, em que se discute a situação de uma carreta que atravessa uma ponte, do ponto de vista da Cinemática, suas respostas limitam-se à resolução matemática do problema e não há manifestação alguma de sua parte quanto às implicações físicas de se considerar o modelo de partícula livre como uma possível solução à situação apresentada.

Na Tarefa 4, em que se discute uma situação típica do jogo de voleibol do ponto de vista da Cinemática, suas respostas evidenciam a falta de clareza quanto à abordagem utilizada na formulação do problema e, conseqüentemente, à compreensão da idealização subjacente à solução proposta para o mesmo. Perguntado sobre que idealizações estavam sendo feitas, responde:

[...] a trajetória retilínea, o movimento uniforme, desprezando peso da bola, diâmetro da bola (arraste ou atrito) (ALUNO 1).

Quanto ao motivo pelo qual a situação idealizada pode ser considerada uma “boa aproximação” à situação real de jogo, escreve:

Acredito que nesta aproximação simulada os erros serão irrelevantes (ALUNO 1).

Na Tarefa 5, em que se discute através de uma simulação computacional o problema da colisão entre dois vagões, o Aluno 1 formula questões-foco pouco relacionadas à exploração da simulação computacional. Em suas palavras:

Porque a quantidade de movimento se conserva? Numa colisão de dois objetos de massas diferentes, podemos ter alguns danos! É possível saber qual dos objetos sairá mais danificado? É possível calcular a quantidade de movimento de dois objetos após a colisão (ALUNO 1)?

Quanto às idealizações subjacentes à simulação computacional, entende ser necessário desprezar as forças externas que atuam sobre os vagões, de modo a considerar o sistema isolado durante o intervalo de tempo entre os instantes imediatamente antes e depois da colisão dos vagões. O que não fica claro é porque isto pode ser feito. Quanto aos referentes, considera que além dos vagões, a Terra é um objeto relevante para a descrição da colisão entre os mesmos. Tal não deve ser o caso, a menos que se considere sua influência sobre o sistema, o que contradiz a sua condição de isolamento (ou de força resultante nula sobre o sistema). Quanto aos parâmetros, o Aluno 1 entende que as massas dos vagões são as

grandezas físicas que devem ser consideradas como tais. Além disso, considera que as velocidades dos vagões, a força de interação entre eles e o tempo de colisão são grandezas físicas que se comportam como variáveis. Na verdade, a colisão ocorre durante um intervalo de tempo muito pequeno. Este é um dos motivos para se ignorar os efeitos das forças de atrito e de resistência do ar, como sugere o Aluno 1. Já a interação entre os vagões, deve ser entendida como um par de forças internas ao sistema que não provoca alteração no estado de movimento do sistema como um todo.

Na Tarefa 6, em que se discute através de uma simulação computacional o comportamento da luz do ponto de vista da Ótica Geométrica, o Aluno 1 formula uma questão-foco interessante sobre uma situação-problema que contextualiza o fenômeno de refração da luz através de lentes esféricas. Em suas palavras:

Uma pessoa que possui miopia tem o globo ocular um pouco mais alongado que o normal. Nesse caso a imagem se forma antes da retina e a pessoa não enxerga o objeto com nitidez. Qual a lente que poderíamos utilizar para fazer essa correção (ALUNO 1)?

Quanto às idealizações subjacentes a simulação computacional, não fica evidente em suas respostas o fato de que a propagação da luz está sendo representada por um conjunto de raios luminosos contidos num plano. O que aparece de forma confusa é a necessidade de se trabalhar apenas com sistemas óticos estigmáticos, para os quais são válidas, aproximadamente, as condições de Gauss para a formação de imagens nítidas e, conseqüentemente, as relações matemáticas que descrevem o fenômeno. Respondendo sobre as idealizações, escreve:

Desprezar as imperfeições da lente (curvatura do raio); Superfície do espelho deve ser perfeitamente lisa; As imagens geradas por lentes esféricas não são nítidas, porém não são percebidas pelo observador. Essa falta de nitidez pode ser desprezada (ALUNO 1).

Quanto aos referentes, o Aluno 1 considera que além do observador, da luz, da lente e do objeto do mundo real, a imagem (virtual) do objeto também faz parte da situação por ele problematizada. Quanto às variáveis, entende que a distância da imagem à lente, a distância do objeto à lente e o aumento linear transversal da lente devem ser considerados como tais. Quanto à distância focal, entende que a mesma deve ser considerada como um parâmetro.

Na Tarefa 8, em que os participantes deveriam propor uma situação-problema que envolvesse o princípio da conservação de energia, o Aluno 1 considera o deslizamento de uma criança do alto de um escorregador até o seu ponto mais baixo. Ao idealizar esta situação, trata a criança como um objeto pontual e despreza os efeitos de atrito e de resistência do ar. Além disso, considera a criança, o escorregador e o solo como sendo os referentes envolvidos na situação. No que se refere às relações, em momento algum o Aluno 1 adota um sistema de referência capaz de definir a posição da criança (partícula) e o zero da função energia potencial gravitacional que calcula. Quanto às variáveis, entende que a posição e a velocidade da criança devem ser consideradas como tais. A aceleração da gravidade g e a massa m da criança são consideradas como parâmetros.

Na quinta semana do curso, ao participar do Fórum de discussão 5 (FD-5), no qual foi solicitado aos alunos que trabalhassem com uma simulação computacional envolvendo o princípio da conservação de energia, o Aluno 1 parece demonstrar avanço no domínio de aspectos relacionados às questões-foco, às idealizações e aos referentes. Contudo, demonstra confusão ao determinar as variáveis e os parâmetros envolvidos na representação da situação, como se pode observar na Tabela D.5 do Apêndice D.

Na Tarefa 9, em que se discute a importância das teorias e dos modelos na escolha da função que melhor ajusta os dados experimentais obtidos de uma experiência na qual uma esfera de aço é abandonada de uma certa altura, o Aluno 1 escolhe a função 2 da tabela apresentada ($H = 591t^2 - 50t$) e justifica sua resposta, escrevendo:

Através da utilização do método dos mínimos quadrados obterei a função que melhor se ajusta ao meu experimento. Nem sempre a função que melhor descreve uma amostragem experimental será a que possui o melhor modelo, pois para nós físicos é importante saber como é o comportamento das nossas grandezas envolvidas. Sempre é interessante obtermos o menor erro possível entre o valor obtido experimentalmente e o valor estimado pela função em ajuste, porém, devo levar em consideração um modelo que irá facilitar minha interpretação e neste caso temos uma função de 2º grau que melhor se adapta a nossa situação-problema. De fato não seria essa a função que tem menor erro, mas para fins didáticos é a que possui um modelo coerente que nos facilita identificar nossas variáveis. O coeficiente de t^2 multiplicado por 2, nos permite identificarmos a aceleração da esfera, já o coeficiente de “ t ” permite verificar a velocidade (ALUNO 1).

Em sua justificativa, o Aluno 1 demonstra indícios de que sua escolha só poderia ser pela função 2 ou pela função 3, uma vez que o modelo teórico que descreve o movimento de uma partícula em queda livre próxima à superfície da Terra é representado por uma função

quadrática. Dentre as funções 2 e 3, opta por aquela que melhor se ajusta aos dados empíricos, do ponto de vista matemático, evidenciando a falta de clareza da situação real, do ponto de vista físico.

A Tarefa 10 não foi realizada pelo Aluno 1.

No Projeto Final, o Aluno 1 discute o princípio da conservação de energia mecânica a partir de uma situação completamente idealizada, típica dos livros de texto de Física em nível médio. A situação diz respeito a um bloco que, inicialmente preso à extremidade de uma mola comprimida contra uma parede fixa, é projetado sobre uma superfície lisa e horizontal que termina numa rampa inclinada, no momento em que a mola é liberada para se distender. A questão-foco formulada pelo Aluno 1 foi: “qual a altura máxima atingida pelo corpo na rampa?” Embora tenha explicitado corretamente as idealizações, os referentes, as relações, as variáveis e os parâmetros envolvidos na situação, em momento algum o Aluno 1 discute a razoabilidade dos resultados que obtém nem tampouco o domínio de validade do modelo que utiliza para solucionar o problema.

A seguir, são apresentados trechos da Entrevista Final realizada com o Aluno 1, contendo fragmentos de respostas em português coloquial, na ocasião do segundo encontro presencial.

A entrevista inicia com um breve relato da visão geral do Aluno 1 sobre o curso a distância. Em suas palavras:

O curso é muito bom. Eu gostei do curso. Além de rever alguns tópicos, assim, bem gerais da Física, ele [o curso] me proporcionou, assim, enxergar alguns detalhes que não são passados, passam despercebidos no ensino médio como alguns conceitos, principalmente idealizações que a gente trabalhou bastante e isso aí de uma certa forma vai me ajudar a passar para os alunos que é algo interessante, principalmente esses alunos do ensino médio que têm uma certa tendência para ir para uma área de Engenharia, ou até mesmo a Física, que são tópicos que passam despercebidos e para eles vai ser importante. Então, os professores o que acontece? Eles saem e todos na mesma linha de pensamento e não se apercebem da importância, assim, de trabalhar com situações principalmente idealizadas [...] (ALUNO 1).

Com objetivo de condensar as informações relevantes fornecidas pelo Aluno 1, os fragmentos de respostas são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Fragmentos de respostas do Aluno 1.

Questões	Fragmentos de respostas
EF1	<p>Aluno 1: <i>Sim, perfeitamente. Suponhamos que nós fossemos fazer principalmente no trabalho, assim, de laboratório, com experimentos, né? [...] Vamos dar o exemplo de um loop [...] Largar um trenzinho, uma montanha russa. Eu tenho os limites de cálculo, né? Então, ele teria que obedecer esses padrões. Só que são situações idealizadas. Se eu fosse fazer isso na prática, não funcionaria. Então por que não funcionaria? Ai é que entra a relação de tudo o que a gente aprendeu, das perdas por atrito, resistência do ar e todas essas situações que são idealizadas. E a questão das simulações computacionais que te dá uma visão maior, que é o que a gente trabalho muito. Então muitas vezes tu não consegue, tu não tens uma tecnologia, algo prático pra descreve essa realidade, e com a simulação fica mais fácil para o aluno mentaliza. [...] no ensino médio eu acho, assim, que o ganho didático, além daquela aula tradicional, poder adaptar essa parte informatizada e com esses conceitos vistos no curso, que são a questão dos modelos científicos [...]</i></p> <p>Entrev.: Digamos que tu queiras discutir com os teus futuros alunos a seguinte situação: uma criança descendo num escorregador. Que idealizações tu farias para abordar esta situação?</p> <p>Aluno 1: <i>Poderia propor para que eles calculassem a velocidade, até mesmo o tempo, né? Só que as idealizações eu poderia fazer com relação ao próprio, a própria resistência do ar, o atrito entre a criança e o próprio plano do escorregador, que é uma superfície, é uma das idealizações que eu poderia fazer. Outra idealização que eu poderia fazer é que ela não está numa, não é uma linha perfeita, vamos dizer assim, ela tem perdas nas curvas no momento da descida. Então, tudo isso, todas essas perdas num somatório, se nós fossemos ver, assim em valores, eles poderiam ser talvez significativos, dependendo duma certa altura. Altura pequena, talvez nem tanto. Altura maior aparece mais, né? No momento acho que não me vem outra situação que eu poderia simular. Ah! O próprio, a própria estrutura da criança, também. Ai já vai entrar na questão de resistência do ar e atrito.</i></p> <p>Entrev.: Agora, digamos que tu queiras discutir a seguinte situação: o movimento desse mouse [o entrevistador faz o mouse do computador a sua frente oscilar num plano vertical].</p> <p>Aluno 1: <i>Pêndulo?</i></p> <p>Entrev.: É, o movimento do mouse. Que idealizações tu farias para discuti-la com os teus alunos?</p> <p>Aluno 1: <i>No movimento do mouse, eu poderia idealizar, bom, a mesma coisa, seria a questão do atrito, também. O fio, a questão do fio. Considerar ele [o mouse] como uma carga pontual, fio inextensível. A forma aerodinâmica dele, né?</i></p>
EF2	<p>Aluno 1: <i>O que eu entendo de idealização é assim: é uma situação que eu preciso chegar em alguns resultados, certo? E tem coisas que eu tenho que desprezar para eu poder chegar a um certo conceito. Então, eu como não tenho, vamos dizer assim, alguns casos eu não tenho suporte ou até tecnologia pra detectar alguns fenômenos físicos, digamos assim, então eu idealizo. É que nem, por exemplo, quando se vai trabalhar com sistemas, sistema entre Terra, Lua e outros planetas, né? Então o que a gente faz? A gente recorta uma parte do Universo e trabalha com situações particulares, pra poder ter condições de fazer algum estudo, porque é difícil tu trabalhar com uma interação completa muitas vezes na Física. Então eu entendo dessa forma. São algumas coisas que nós desprezamos para poder dar um tratamento particular, especial, para um determinado assunto.</i></p>
EF3	<p>Aluno 1: <i>Aproximação ela é quase, digamos assim, uma idealização. Só que a aproximação, ela, como é que eu vou te explicar, assim, ela é relevante, tem alguns limites. Então, quando o experimento que eu quero fazer, eu consigo, como é que eu vou te explicar, deixa eu pensar numa situação que eu consigo fazer uma aproximação [Silêncio], ela é quase como se fosse uma idealização, é que não me vem um exemplo agora [Silêncio].</i></p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p>Entrev.: Na situação da criança descendo o escorregador, ou mesmo na situação do movimento do <i>mouse</i>, tu consegues identificar alguma aproximação?</p> <p>Aluno 1: <i>Do mouse eu me lembro que tinha uma aproximação que a gente via até uma questão matemática. Uma formulação matemática, né? Que a gente usava uma fórmula simplificada. Isso eu me lembro.</i></p>
EF4	<p>Aluno 1: <i>Referentes é tudo aquilo que eu uso como se fosse, assim, um parâmetro pra minha experiência. Por exemplo, uma criança descendo do escorregador meu referente poderia ser o próprio, seria a Terra, o ponto onde ela está subindo, eu posso considerar como um referente, não muda né? A gravidade, que no caso o valor seria mínimo dum ponto até o outro, eu posso considerar como um referente. Seria isso, alguns exemplos que eu me lembro.</i></p> <p>Entrev.: Na situação do movimento do <i>mouse</i>, quem seriam os referentes?</p> <p>Aluno 1: <i>Do mouse seria a gravidade, do pêndulo, né? O mesmo exemplo que eu dei. Seria a gravidade, a Terra [Silêncio].</i></p>
EF5	<p>Aluno 1: <i>Variáveis seriam aqueles valores, assim, que se alteram no decorrer da minha experiência, né? Por exemplo, nessa questão do pêndulo a minha variável poderia ser a [Silêncio], não, não, vou te dar o exemplo do escorregador. A minha variável poderia ser a altura e também poderia ser a própria velocidade, poderia ser a minha variável. São relações que eu tenho entre as grandezas que eu estou trabalhando.</i></p> <p>Entrev.: E como parâmetro?</p> <p>Aluno 1: <i>E o parâmetro são aqueles, será que eu não confundi com referentes agora, e o parâmetro é aquele valor que eu uso, né? Faço as relações com as grandezas, mas, são tipo uma referência, não se modificam, a própria gravidade, né? A gravidade seria um parâmetro.</i></p> <p>Entrev.: E a gravidade seria um parâmetro ou um referente?</p> <p>Aluno 1: <i>Um parâmetro.</i></p> <p>Entrev.: É que antes tu disseste que ela seria um referente.</p> <p>Aluno 1: <i>É que eu confundi. Ela é um parâmetro.</i></p>
EF6	<p>Aluno 1: <i>Domínio de validade de um modelo seria, assim, a confiabilidade que eu tenho no modelo numa determinada circunstância. Digamos assim, se eu faço muitas idealizações esse meu domínio de validade, ele fica restrito. Se eu diminuo as minhas idealizações, eu consigo ter uma abrangência maior. Eu consigo compreender, vamos dizer assim, situações maiores no meio da Física. Eu entendo assim. Por exemplo, se eu, deixa eu ver um exemplo que eu [Silêncio]. Bom, um exemplo que nós trabalhamos entre um trem e a ponte. O trem e a ponte. Um trem passando pelo meio de um túnel. Então, uma situação seria, eu usar esse trem como um ponto, uma partícula pontual. E outra situação é o túnel. O que acontece? Cada situação vai ter um domínio de validade e nós trabalhamos isso. E teve uma situação que o domínio de validade foi maior que o outro. Que daí entra uma questão de tolerância, né? Tu consegue ter uma abrangência maior na hora que tu está trabalhando, que tu está simulando.</i></p>
EF7	<p>Aluno 1: <i>Um modelo é mais preciso quando ele é menos idealizado. Quando eu consigo, é quando tu não idealizas muito, tu tens um grau de precisão maior. Tu tens uma confiabilidade maior no que tu está fazendo. Diminui teu erro.</i></p> <p>Entrev.: Tu terias algum exemplo a dar? Na situação da criança descendo o escorregador, tu, inicialmente, fizeste algumas idealizações para construir teu modelo. Como poderias aumentar o grau de precisão deste teu modelo?</p> <p>Aluno 1: <i>No exemplo da criança eu poderia considerar o atrito. Não desprezar, talvez, a resistência do ar.</i></p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p>Entrev.: E qual seria o domínio de validade deste teu modelo?</p> <p>Aluno 1: <i>Seria válido trabalhando mais na Mecânica Newtoniana, né? Seria, assim, baixas velocidades, uma situação mais de Mecânica Clássica, mesmo.</i></p> <p>Entrev.: Do que depende o grau de precisão de um modelo científico?</p> <p>Aluno 1: <i>Precisão está ligado com a exatidão. Seria, assim, mais um modelo que trás, digamos assim, uma cópia mais fiel da realidade. Tu terias um maior grau de precisão.</i></p>
EF8	<p>Aluno 1: <i>Expansão de um modelo, vamos dizer assim, é um modelo que eu posso aplicar em outras, em outros segmentos, seja na própria Física, né?</i></p>
EF9	<p>Aluno 1: <i>Na realidade tem uma ligação entre os dois. Mas expandir, eu posso aperfeiçoar ele [modelo]. Ai é aquele exemplo dá, que a gente viu dá questão das partículas atômicas. Tinha um modelo e ele foi, vamos dizer assim, aperfeiçoado. Então, isso ai é um exemplo de expansão. E generalizar é aquela questão de eu poder usar esse mesmo formalismo em outras áreas da própria Física. Isso seria generalização.</i></p>
EF10	<p>Aluno 1: <i>Modelos científicos são ferramentas que nós usamos para traduzir, ou fazer uma cópia da realidade. Uma cópia, vamos dizer assim, aproximada da realidade. Isso seria um modelo científico. Que tem todo um formalismo, tem todo um estudo substancial por trás disso aí.</i></p> <p>Entrev.: Poderias dar um exemplo de modelo científico?</p> <p>Aluno 1: <i>Um exemplo de modelo científico seria, por exemplo, um modelo cinemático, um modelo da área da Física.</i></p>

Passemos agora a uma tentativa de interpretação da entrevista realizada com o Aluno 1. Contudo é importante frisar que tais comentários refletem também, e não secundariamente, a interação com o Aluno 1 ao longo dos encontros virtuais síncronos. O objetivo aqui, é buscar evidências de possíveis avanços no domínio conceitual associado ao campo da modelagem de fenômenos físicos por parte do Aluno 1.

Nos encontros virtuais em que esteve presente, a participação do Aluno 1 pode ser considerada modesta. Na maioria das vezes, suas intervenções foram no sentido de concordar com a opinião dos demais colegas sobre os questionamentos feitos pelo professor. Raramente manifestou opinião própria. No que se refere aos conceitos envolvidos no processo da modelagem de fenômenos físicos, o Aluno 1 parece ter demonstrado avanços, principalmente, na compreensão das idealizações e das aproximações subjacentes aos modelos abordados ao longo do curso, embora tenha apresentado dificuldade na entrevista para encontrar exemplos de aproximações. No que se refere ao domínio dos conceitos de variável, parâmetro e referente, o próprio aluno reconhece a dificuldade em discernir os parâmetros dos referentes de um modelo. Esta dificuldade parece ter acompanhado o Aluno 1 por todo o curso, apesar de não ter ficado evidente em algumas situações-problema. Quanto aos aspectos conceituais

relacionados à análise da razoabilidade dos resultados obtidos pelos modelos, aparentemente, o Aluno 1 não faz diferença entre os conceitos de domínio de validade e grau de precisão. Entretanto, reconhece um aspecto fundamental que relaciona estes dois conceitos: a dependência de ambos com as idealizações que são feitas pelos modelos conceituais. Nesse sentido, parece compreender que as idealizações exercem papel determinante no processo de validação e expansão dos resultados obtidos pelos modelos teóricos e que, por isso, os modelos devem ser entendidos como instrumentos que permitem representar a realidade de forma aproximada.

Aluno 2:

Atualmente com 25 anos de idade, o Aluno 2 concluiu o curso de Licenciatura em Física no ano de 2005 em uma universidade federal. Possui experiência didática no ensino médio de 3 anos. Atualmente leciona 17 horas-aula semanais como professor de Física em uma escola privada.

A seguir, são apresentadas algumas de suas concepções sobre modelos e teorias científicas, e sobre a natureza da Ciência em geral, intercaladas a comentários interpretativos, a partir da análise de suas respostas ao QI. A Tabela 6 mostra as respostas do Aluno 2 às questões que compunham o QI.

TABELA 6 – Respostas do Aluno 2 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.

Questões	Respostas do Aluno 2
Q11	<i>Entendo por modelo científico as “etapas” pelas quais as idéias científicas devem “passar” para que uma teoria seja estudada e verificada (ou não). Entendo por “científico” tudo aquilo que tem a ver com Ciência, conhecimento. Assim sendo, modelo científico seria a forma como o conhecimento seria modelado, desenvolvido, visto que creio que a Física baseia-se em modelagens da natureza e não a descrição exata de como ela se comporta. Sei que muitos defendem que o modelo científico identifica-se com o método científico, mas não quero propor esta mistura. Assim, um modelo seria uma aproximação muito boa daquilo que de fato deseja-se estudar e sempre podendo aproximar-se.</i>
Q12	<i>Teoria científica é uma idéia, um conceito que “nasce” na mente dos estudiosos (lembrando sempre que não podemos considerar as pessoas como tábuas rasas) a qual eles vão pensar, repensar, desenvolver, prever, surpreender-se e ir em busca de afirmá-la. Uma teoria é uma idéia que, a priori, é levada a ser corroborada ou não. As teorias não são infalíveis e podem ser alteradas com o desenvolvimento tecnológico e a evolução do pensamento, como vem ocorrendo com a Física desde séculos atrás (Aristóteles, Galileu, Newton, Einstein). As teorias científicas seriam os desejos em descrever a natureza da melhor forma, mais aproximada da realidade.</i>

Questões	Respostas do Aluno 2
Q13	<i>Na Ciência, verdade é aquilo que está sendo válido no momento. Não entendo que existam teorias científicas verdadeiras, senão aboliria todo o desenvolvimento que a Física teve e as mudanças até os dias de hoje. As teorias são aceitas, mas sempre podem ser questionadas, aprimoradas. Não creio que seja possível afirmar que alguma teoria é a verdade, porque nunca poderíamos melhorá-la e não teria sentido todo esse desenvolvimento em que estamos imersos. Como acredito que tudo pode ser aprimorado e conhecendo a história da Física como conheço, entendo que as teorias são provisórias e válidas por um certo tempo.</i>
Q14	<i>O objetivo maior da Ciência é o de descrever a natureza, utilizando modelos, da maneira mais “real” possível à natureza e ao seu comportamento e utilizando-se de estudos e dos avanços tecnológicos melhorar ou confirmar as teorias aceitas.</i>
Q15	<i>A Ciência busca uma boa descrição da natureza e de tudo que com ela está envolvido, sempre podendo ser corroborada e aprimorada. Outras formas de conhecimento podem se achar irrevogáveis e não questionáveis, o que não creio que seja científico.</i>

A concepção de modelo científico do Aluno 2 parece estar relacionada a um estágio pelo qual as teorias científicas, necessariamente, deveriam passar antes de serem verificadas. Embora não pretenda estabelecer comparações entre modelo e método científico, é isso que parece sugerir sua resposta. Nesse sentido, parece entender que um modelo científico é uma espécie de delineamento do conhecimento produzido pela Ciência. Além disso, considera que a Física é essencialmente um processo que visa descrever a natureza de forma aproximada. Já as teorias científicas são idéias falíveis que sofrem corroborações e que se modificam à medida que a tecnologia e o pensamento evoluem no tempo. As teorias traduzem o desejo maior da Ciência: descrever a natureza da melhor maneira possível. Essa busca pelo aprimoramento é o que caracterizaria o conhecimento produzido pela Ciência, ao contrário de outras formas de conhecimento que não podem ser questionados nem aperfeiçoados.

Durante o curso, a participação do Aluno 2 pode ser resumida, em termos quantitativos, da seguinte forma: esteve presente aos 2 encontros presenciais e participou de 5 encontros virtuais no MBMS. Na plataforma TelEduc, participou de 4 fóruns de discussão, realizou 9 tarefas e elaborou o projeto final. A seguir, serão detalhadas as atividades desenvolvidas pelo Aluno 2 de modo assíncrono, mescladas a comentários interpretativos, ao longo das oito semanas do curso.

As atividades desenvolvidas pelo Aluno 2 de modo assíncrono têm início com a sua participação nos 2 fóruns de discussão criados na primeira semana do curso. Ao participar do Fórum de discussão 1 (FD-1), no qual foi solicitado aos participantes que comentassem um trecho extraído da obra de Bonjorno *et al.* (1997), disponível na Tabela D.1 do Apêndice D, o Aluno 2 escreve:

É interessante notar que em diversos *sites* e livros existe esta afirmação de que as grandezas chamadas físicas são grandezas que podem ser medidas e isso, inclusive, está muito fixo na cabeça dos alunos. Sabemos que há grandezas mensuráveis que são estudadas pela Física. Mas a Ciência não trabalha apenas com aquilo que pode ser medido. Entendo que o desejo dela é mensurar, mas para determinar, por exemplo, a velocidade e a posição de um elétron, sabemos que não são medições possíveis ao mesmo tempo. Afinal, ora obtemos uma grandeza, ora a outra, e mesmo assim a grandeza não deixa de ser uma grandeza apenas porque, em determinada situação, não pode ser mensurada. E também esta grandeza não deixa de ser estudada pela Física por não podermos determiná-la em todos os momentos, o que discorda, então, da afirmação de que a Física SÓ trabalha com aquilo que pode ser medido (ALUNO 2).

Já ao participar do Fórum de discussão 2 (FD-2), no qual foi solicitado aos participantes que comentassem outro trecho extraído da mesma obra de Bonjorno *et al.*, disponível na Tabela D.2 do Apêndice D, o Aluno 2 escreve:

O conhecimento científico não desenvolve-se inicialmente pelos nossos olhos, mas sim pelo nosso cérebro. Quem conhece a história e a evolução da Física ao longo dos anos não consegue permanecer pensando que o processo de progresso da Ciência é a observação e a experimentação. É evidente que esses dois processos fazem parte, mas não são os constituintes únicos nem primários do "método científico". Será que Newton viu mesmo uma maçã caindo para depois desenvolver suas leis? Einstein viajou à velocidade da luz ou viu alguém fazê-lo para chegar à relatividade geral? Quem já observou um elétron? Ou um quark? No entanto, grande parte dos modelos e das teorias científicas aceitas hoje utilizam-se (ou utilizaram-se) dessas idéias para o progresso da Ciência. Além disso, como bem sabemos, cientistas estão em busca do gráviton, que nunca foi observado, mas já possui toda uma teoria "à sua espera". Creio que esse é um bom exemplo de que, para progredir a Ciência, os modelos e as teorias estão à frente da experimentação e da observação (ALUNO 2).

Na Tarefa 1, o Aluno 2 demonstra a idéia de que os modelos científicos são representações aperfeiçoáveis que procuram descrever, da melhor maneira possível, o que as teorias têm a dizer sobre os fenômenos físicos do mundo real. Em suas palavras:

Entendo também que os modelos científicos são dinâmicos, ou seja, podem ser reformulados com o passar do tempo e também entendo que eles são representações cada vez mais aprimoradas dos fenômenos do nosso mundo real. Os modelos no ensino da Física têm o papel de descrever da melhor maneira, mesmo que provisoriamente, o que uma teoria diz sobre determinado fenômeno (ALUNO 2).

Na Tarefa 2, as respostas do Aluno 2 evidenciam a confusão entre modelo, lei, princípio e teoria científica, como se pode observar na Tabela 7.

Tabela 7 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 2.

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Por que as caixas d'água devem ser colocadas em cima das casas e dos edifícios?</i> • <i>Por que para aumentar a velocidade da água é diminuído o diâmetro dos canos?</i> 	<i>Princípio de Bernoulli</i>
Condução de calor através de uma barra metálica.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Como acontece a condução de calor através de uma barra metálica?</i> • <i>Qual a condutividade desta barra metálica?</i> 	<i>Cinética molecular</i>
Um automóvel fazendo uma curva.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Que força(s) faz(em) o automóvel realizar a curva?</i> • <i>Qual é o raio desta curva?</i> 	<i>Mecânica Clássica (Newtoniana)</i>
Um circuito elétrico constituído de uma bateria e lâmpadas associadas em paralelo.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>O que acontece com o brilho das lâmpadas este circuito e por quê?</i> • <i>Se uma lâmpada for retirada, as outras continuarão funcionando?</i> 	<i>Leis de Ohm</i>
Uma xícara de chá quente em temperatura ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Por que se assopra na superfície da xícara para esfriar o chá?</i> • <i>Se esquecermos a xícara sobre a mesa, qual será sua temperatura final?</i> 	<i>Termodinâmica (distribuição de energia e de Maxwell-Boltzmann)</i>

Na segunda semana do curso, ao participar do Fórum de discussão 3 (FD-3), no qual foi solicitado aos participantes que propusessem uma situação-problema, enunciassem uma questão-foco interessante sobre a mesma e discutissem que idealizações poderiam ser feitas para respondê-la, o Aluno 2 escreve:

Situação-problema: um balão de balonismo subindo. Questão-foco: considerando P o peso de duas pessoas mais o da gôndola e d a densidade do ar dentro do balão, qual é o volume mínimo do balão de gás para suspendê-lo do chão? Idealizações: a pressão atmosférica e a densidade do ar não se alteram com a altitude, despreza-se a resistência do ar, considera-se a gôndola como uma partícula, despreza-se o peso do balão e também considera-se o peso total e o empuxo constantes durante a subida (ALUNO 2).

Ainda na segunda semana do curso, ao participar do FD-4, o Aluno 2 comenta uma citação que encontra sobre modelos científicos, disponível na Tabela D.4 do Apêndice D, na

qual os modelos são entendidos como sinônimo de padrões (regularidades) encontrados na natureza, e escreve:

Os autores apresentam assim a Física aos alunos no início do livro. De forma bem sucinta, talvez não muito explícita, eles tentam mostrar ao estudante que as leis e princípios da Física são modelos que tentam agregar idéias a fatos e à organização da natureza. Não fica muito claro a idéia de modelo como uma representação simplificada da realidade, nem da possível existência de mais de um modelo para descrever um fenômeno, nem da "reformulabilidade" dessas idealizações. Entretanto, recorro que em diversos capítulos os autores tecem comentários sobre a matéria e nesses comentários eles mostram algumas aproximações feitas para utilizar determinada fórmula ou ter-se determinado fenômeno. Pelo menos eles citaram que as leis e os princípios da Física são modelos (mesmo não tendo dado muita ênfase a isso) e relembram ao longo do livro algumas aproximações e desprezos realizados (ALUNO 2).

Na Tarefa 3, ao responder sobre as implicações físicas que decorrem do fato de tratar a carreta como um objeto pontual, o Aluno 2 escreve:

Ao considerarmos a carreta como uma partícula pontual, estamos 'rejeitando' (ou seja, *idealizando*) a realidade para que as suas dimensões não alterem o tempo que ela demoraria no trajeto nem a distância por ela percorrida. Estamos considerando que toda essa "falta de características" (sem dimensões, sem massa) não interfere no estudo de determinado fenômeno que, no caso aqui citado, é a passagem pela ponte. De fato, na situação A fez muita diferença. Já na situação B, ser considerada como pontual serviu como uma ótima aproximação (ALUNO 2).

A resposta acima parece evidenciar o entendimento por parte do Aluno 2 de que a representação simplificada da carreta é adequada para descrever somente a situação em que esta última atravessa a ponte maior extensão.

Na Tarefa 4, perguntado sobre o motivo pelo qual a situação idealizada é considerada uma "boa aproximação" da situação real, o Aluno 2 responde:

Porque não descreve exatamente com é o movimento na realidade e despreza fatores que interferem na cortada. Sabemos que, na prática, os movimentos não são perfeitamente uniformes. Geralmente utilizamos dele (do movimento uniforme) como aproximação de movimentos reais (ALUNO 2).

Quanto às idealizações, parece não ter compreendido que a situação foi problematizada no contexto da Cinemática. Por isto não tem sentido fazer considerações a respeito das forças que atuam sobre a bola, uma vez que o foco do problema está restrito às grandezas cinemáticas que descrevem o movimento da bola. Perguntado sobre que idealizações estavam sendo feitas, escreve:

Que a bola permaneceu à mesma velocidade desde que saiu da mão do jogador até chegar ao chão, desprezando-se, assim, os efeitos da atração gravitacional; que a bola percorreu uma trajetória exatamente retilínea; que a bola não girou; que a bola não sofreu resistência do ar (ALUNO 2).

Na Tarefa 5, o Aluno 2 formula questões-foco que não estavam relacionadas à exploração da simulação computacional. Em suas palavras:

O que acontece com uma bola de bilhar que está parada ao ser atingida por outra (considerando o movimento em uma dimensão)? Qual é o comportamento da energia cinética antes e depois de uma colisão inelástica (ambos corpos estão em movimento na mesma direção e sentido) entre um carro que possui o dobro da massa e da velocidade do carro atingido (microônibus – carro) (ALUNO 2)?

No que se refere às idealizações subjacentes à simulação computacional, escreve:

Velocidades constantes, sistema isolado e fechado, sem atrito com a superfície nem resistência com o ar, não há deformações nos blocos devido às colisões nem perdas de energia na mola (ALUNO 2).

Quanto aos referentes, o Aluno 2 entende que apenas os dois corpos devem ser considerados no estudo da colisão. Além disso, ele considera que os parâmetros relevantes para a descrição do sistema são as massas e as velocidades iniciais de cada corpo. Entretanto, as velocidades iniciais são condições iniciais e não parâmetros. Já as velocidades finais, as quantidades de movimento, inicial e final, e as energias cinéticas, inicial e final, dos corpos são entendidas pelo Aluno 2 como variáveis dependentes.

Na Tarefa 6, o Aluno 2 formula duas questões-foco que justificam o uso da simulação computacional como ferramenta auxiliar no estudo da formação de imagens em espelhos esféricos. Em suas palavras:

Qual é a relação entre a distância do objeto a um espelho côncavo e o foco deste espelho para que a imagem tenha a metade da altura do objeto? Qual é o comportamento da imagem do objeto quando o aproximamos de um espelho convexo (ALUNO 2)?

Quanto às idealizações subjacentes à simulação computacional, o Aluno 2 entende que os espelhos são superfícies perfeitamente refletoras e que as lentes são consideradas delgadas. Além disso, entende que o meio é homogêneo e, no caso das lentes esféricas, é também menos refringente que as mesmas. Já o objeto é uma fonte de luz pontual. Por último, o Aluno 2 manifesta a idéia de que a luz propaga-se bidimensionalmente. Sobre os referentes,

considera as lentes (convergentes e divergentes), os espelhos (convexo e côncavo), os raios de luz, o objeto e a imagem como tais. Quanto às grandezas envolvidas na simulação, classifica a distância focal e a altura do objeto como parâmetros, e a distância do objeto e da imagem ao espelho, o tamanho da imagem e o aumento linear transversal como variáveis. No entanto, considerar as lentes esféricas como sendo delgadas é uma aproximação necessária, dentre outras, para deduzir-se a equação de conjugação das lentes esféricas (ou “equação dos fabricantes de lentes”, como é também conhecida). Já a altura do objeto deve ser entendida como uma variável independente.

Na Tarefa 8, o Aluno 2 formula duas questões-foco sobre a seguinte situação:

Uma pessoa deseja saltar em um *bungee-jumping* apenas por diversão e não quer que imprevistos aconteçam... Qual é a relação entre a altura e a “elasticidade” (constante elástica da mola) da corda e o peso (ou a massa) da pessoa para que ela não bata a cabeça no chão? Qual é a velocidade máxima que a pessoa atinge durante a queda (ALUNO 2)?

Para tratar de forma simplificada a situação apresentada, o Aluno 2 faz as seguintes idealizações:

Movimento vertical, sem atrito com ar e sem forças dissipativas (sem perda de energia); aceleração da gravidade é constante durante todo o movimento; a corda é inextensível, possui massa desprezível e não varia seu tamanho com a temperatura ambiente; a pessoa não se atira (apenas cai), é um corpo rígido que não realiza movimentos durante a descida (abrir e fechar pernas e braços, por exemplo) e que está usando devidamente todos os equipamentos de segurança (ALUNO 2).

Imediatamente vê-se que a idealização – a corda é inextensível – não faz sentido, uma vez que a elasticidade da corda é uma das condições para garantir a segurança e a diversão da pessoa que salta. Entretanto, ao responder as questões-foco, o Aluno 2 considera a elasticidade da corda e supõe que a mesma seja considerada como uma mola que obedece à Lei de Hook. Quanto aos referentes, considera a Terra, a corda, o corpo massivo e a ponte ou prédio para a queda como tais. Além disso, entende que a altura, a velocidade e a deformação da corda são variáveis e que a aceleração da gravidade, a constante elástica da mola e a massa do corpo são parâmetros. Por fim, ao aplicar o princípio da conservação de energia mecânica à situação idealizada, responde somente a segunda questão de forma correta.

Na Tarefa 9, o Aluno 2 escolhe a função $H = 500t^2$ e justifica sua resposta, escrevendo:

Um físico escolheria a função de ajuste 2, pois ela é a única que “fecha” com a teoria e os conceitos que estão por trás do movimento em questão. Assim, para analisar os dados do experimento eu não devo escolher a função levando em conta apenas aquela que possui a menor diferença [somatório dos quadrados dos resíduos], mas sim aquela que contempla o movimento e que possui o sentido físico adequado, podendo-se detectar quais valores equivalem a quais grandezas. E como trata-se de um movimento em queda livre, saindo do repouso e da posição 0, então o único termo que aparece é o envolvido com o quadrado do tempo. A única função que possui apenas o quadrado do tempo é a segunda (ALUNO 2).

No que se refere à identificação dos parâmetros de ajuste com as grandezas físicas, o Aluno 2 manifesta a idéia de que a altura H deve ser considerada como uma variável dependente, o valor numérico 500 , como um parâmetro, e o tempo t , como uma variável independente.

A Tarefa 10 não foi realizada pelo Aluno 2.

No Projeto Final, o Aluno 2 se propõe a discutir em profundidade a situação-problema que havia apresentado no FD-3. Em suas palavras:

Karen, de 60 kg, assistindo à competição de balonismo em Torres, passou a desejar também ser “levitada” por um balão e sentir o vento no seu rosto, bem como a adrenalina de se estar nas alturas. Como ela não possui condições suficientes para comprar uma gôndola e todo o aparato de ar quente necessário, ela passa a imaginar como seria se fossem balões comuns, desses que utilizamos em aniversários cheios de hidrogênio, abundante na natureza. Assim sendo, ela pergunta-se: qual é o volume mínimo de balões para suspendê-la do chão? Quantos balões, aproximadamente, seriam necessários para isso (ALUNO 2)?

De forma a tratar a situação de modo simplificado, o Aluno 2 parte de duas hipóteses iniciais. Em suas palavras:

Consideraremos todos os balões como um apenas de grande volume e apenas depois determinaremos quantos balões seriam necessários. Aqui, então temos apenas um fio e um grande balão. Para facilitar os cálculos, e como ela nunca andou nas alturas e também não quer mudanças bruscas no movimento que a façam ter medo, vamos considerar que ela sobe sem aceleração, ou seja, em movimento uniforme, com velocidade constante (ALUNO 2).

Adicionalmente a estas hipóteses, o Aluno 2 faz uma série de idealizações e aproximações numéricas. E após uma análise das relações que pretende estabelecer, seleciona os referentes, as variáveis e os parâmetros que considera relevantes na descrição do sistema. Em seguida, aplica a Segunda Lei de Newton ao sistema idealizado e calcula o volume do balão para suspender a pessoa. Por fim, discute a razoabilidade da solução encontrada e

calcula o erro introduzido pelas idealizações que faz inicialmente. Além disso, discute uma possível expansão do modelo construído e a sua utilidade em outras situações reais.

A seguir, são apresentados trechos da Entrevista Final realizada com o Aluno 2, contendo fragmentos de respostas em português coloquial, na ocasião do segundo encontro presencial.

A entrevista inicia com um breve relato da visão geral do Aluno 2 sobre o curso a distância. Em suas palavras:

[...] Então eu vejo que a gente aprendeu que são tudo aproximações da nossa realidade, são jeitos que os cientistas foram criando para poder descrever da melhor maneira, até agora possível, de analisar os fenômenos e a natureza em si. Então, foi bem importante por que começou a fortalecer mais ainda no meu consciente a necessidade de deixar isso claro para o aluno de que a Física é assim agora, ela está estudando assim, mas ela não responde todas as coisas né. Tem certas coisas que os cientistas ainda estão buscando. [...] Eu achei um curso bem positivo nisso por que eu usei a cabeça né. Não foi algo assim, ah, vou fazer um curso para ter mais um curso, não. Eu tive que usar os meus conhecimentos que eu já aprendi ou então analisar: mais isso eu não me lembro de ter visto. Então como é que é isso? Tentar relacionar tudo o que eu já aprendi com o que eu tava aprendendo de novo. Eu tive que correr um pouquinho atrás também né. Tive que ficar, fiquei até tarde fazendo as tarefas, por que nem todas foram assim: ah, sentei e fiz em 5 minutos. Então, exigiram de mim um pouco e isso para mim me faz bem, quando eu vejo que eu desenvolvo alguma coisa. [...] (ALUNO 2).

Com objetivo de condensar as informações relevantes fornecidas pelo Aluno 2, os fragmentos de respostas são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 – Fragmentos de respostas do Aluno 2.

Questões	Fragmentos de respostas
EF1	<p>Aluno 2: <i>Seria algo muito positivo se a gente conseguisse fazer isso, assim, direto. O problema é a questão do tempo, sempre. Tem que dar toda a matéria em três anos. Quatro períodos, três períodos é pouco. Mas, sim, teria como eu analisar uma determinada situação e colocar para os alunos, ou botar que nem, sei lá, colocar que nem a gente fez mesmo: o ato de caminhar. Que dúvidas vocês têm sobre o ato de caminhar? E daí botar as dúvidas deles e tentar correr atrás disso, né? Conversar com os alunos e ver porque é tal coisa. Eu acho que por mais que eles não saibam tudo, eles iam conseguir começar a ter aquele raciocínio físico até que a gente pode chamar, que muitos não têm. É uma coisa, ah, qual é a fórmula lá. Ou então é muito direto, eles não querem raciocinar mesmo. Eles não querem, eles admitem que gostam de coisas prontas. E eu acho que é por isso que eles têm tanta dificuldade em Física. [...]</i></p> <p>Entrev.: Digamos que tu queiras discutir com os teus alunos o movimento desse mouse [o entrevistador faz o mouse do computador a sua frente oscilar num plano vertical]. Quais são as idealizações e as aproximações que tu farias? Como é que tu começarias abordando a situação?</p> <p>Aluno 2: <i>Bom, começaria primeiro dizendo a situação de repente, se não partiu deles,</i></p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p>vendo primeiro então algumas, sei lá, algumas dúvidas que seriam no caso as questões que eles teriam sobre o movimento, né? O que eles acham interessante saber sobre o movimento do mouse que está se mexendo. A partir daí, a gente teria alguma coisa que procurar. Tem tal pergunta, então vamos atrás dessa resposta. Então, analisando isso, a gente faria daí um, tentaria fazer um, algo simplificado. Desenha o mouse, fazer tudo isso, talvez, pensa o que a Física tem a ver com isso, né? Então, eu tenho que fazer a comparação, se assim pode se chamar, entre o movimento e como é que a Física descreveria isso daí. Então, a primeira coisa que vem na minha cabeça, seria a questão do que é um movimento harmônico simples, lembrando do pêndulo, e daí, a gente tentaria ver se os alunos conseguiriam enxergar isso. Muitas vezes a gente vê, mas os alunos não conseguem ver. Ah é isso! Demora um tempo. E daí com tudo isso, botando, esquematizando o fio, lembrando que o fio não se estende, eles não sabiam o que era fio inextensível no meu colégio. Ah, o fio não se estica. Considerando que o fio também não tem massa nenhuma, o que também é uma idealização, né? Que também o ângulo é um ângulo que o seno é parecido como o ângulo, se eu não me engano, essa é a aproximação que a gente faz. Então, considerando todas essas idealizações para poder analisar de uma forma simplificada. Pelo menos para ter uma noção do que a gente quer saber, né? Muitas vezes eles têm dificuldade de ver essa coisa que oscila para sempre, né? De que vai oscilar. Bah, né? Vai ficar oscilando, vai ficar oscilando. Tá sora [professora] mas vai parar um dia. Sim vai. Mas é que aqui a gente está considerando sem atrito, sem resistência do ar. Ah tá, mais daí vai ficar para sempre? Sim, fica ali porque não tem nada para resistir. Então, lembrando todas essas coisas. Eu creio que as idealizações são coisas que são importantes para os alunos saberem. Para saber das limitações do modelo. Para poder saber que eles não são perfeitos. Por que isso eu vejo que a gente não fala muito. Esse caso do fio que eu citei, ou ignorar o atrito, até que aparece bastante. Na queda livre, também, ignorar a resistência do ar. Podemos analisar também as forças que estão atuando, né? Força de tensão, o peso. Ver onde a velocidade é maior. Por que ele mais rápido em baixo. A questão de energia, também, né? Que tipo de energias estão envolvidas. Por que ele oscilaria para sempre? O que faz ele ficar se mexendo para sempre? Ignorando o atrito, etc.</p>
EF2	<p>Aluno 2: Idealização é aquilo que eu posso idealizar [Risos]. É pegar a situação e fazer tipo, tirar aquilo que não, que tudo bem alteraria, mas que para o que eu saber não vai fazer grandes alterações. Então, é aquilo que a gente falou de recortar a realidade, né? De fazer um recorte e analisar daí aquilo ali. Então isso seria idealização Se eu considerar, por exemplo, a questão da queda livre, que a queda não é totalmente retinha, vertical. [...] Então essas idealizações seriam para isso. Eu quero só ver quanto tempo a bola vai demorar. Não me interessa se ela vai estar girando ou não. Quero saber mais ou menos quanto tempo ela vai demorar para cair.</p>
EF3	<p>Aluno 2: Aproximação foi o que ficou mais confuso com a idéia de idealização. Aproximação [Silêncio], é algo que eu penso que tem que estar envolvido, mas que eu não precisaria de repente retirar ele. Acho que não ficou claro.</p> <p>Entrev.: Na situação em que uma criança desce de um escorregador, que aproximação tu poderias fazer?</p> <p>Aluno 2: Confesso que eu tenho dúvida, mas sei lá, poderia considerar que o escorregador é reto. Não sei se isso seria uma aproximação.</p>
EF4	<p>Aluno 2: Referentes são todos aqueles entes que estão envolvidos na situação, no modelo que eu vou usa, né? Na situação talvez não necessariamente, mas no modelo que eu vou utilizar para resolver determinada questão-foco. É tudo aquilo, sei lá, se a força peso está incluída, então quem está fazendo a força peso? A Terra estaria incluída. Se tem um espelho ali, então o espelho estaria incluído. Tudo aquilo que tem importância dentro do modelo científico.</p> <p>Entrev.: Na situação do mouse oscilando, quais seriam os referentes?</p> <p>Aluno 2: O próprio mouse, o fio e a Terra. É isso, já que a gente está ignorando a resistência.</p>

Questões	Fragments de respostas
EF5	<p>Aluno 2: <i>Parâmetro fico como aquilo que seria constante em determinada situação, que não teria alteração naquela situação, o próprio g da aceleração da gravidade, que a gente ignora as alterações dela, com a altura por exemplo, sei lá, muitas vezes a posição inicial de algum objeto que vai começar a andar. Isso é um parâmetro. É aquilo que não se altera com o andar do problema. E variável é aquilo que eu vou ter mudança. O tempo é uma variável. A velocidade vai mudando.</i></p> <p>Entrev.: E no caso do mouse oscilando?</p> <p>Aluno 2: <i>Por exemplo, o peso dele seria um parâmetro. Uma variável dele seria, por exemplo, daí depende da situação, sei lá, seria as energias envolvidas nele, que estariam variando. A altura dele.</i></p>
EF6	<p>Aluno 2: <i>Eu entendo isso como até onde o meu modelo vai conseguir responder coerentemente. O domínio de validade para mim é isso, até determinado limite, sei lá, na velocidade da luz o modelo newtoniano perdeu o domínio de validade dele. Para a velocidade precisaria outro modelo. O máximo que o modelo consegue responder.</i></p>
EF7	<p>Aluno 2: <i>Um modelo mais preciso é quando ele consegue responder bem, com uma boa qualidade as questões que são propostas a ele [...]</i></p> <p>Entrev.: Na situação do mouse oscilando, como tu poderias aumentar o grau de precisão do teu modelo?</p> <p>Aluno 2: <i>Daí a gente teria que considerar que nós estamos no vácuo, que o ar influencia, tanto que uma hora ele vai parar. A gente teria que considerar que o fio se estica um pouquinho que seja, por menor que seja a massa. Teria que acrescentar isso, porque isso vai alterar, o tamanho do fio alteraria o período [...] além de tudo o fio tem, mesmo que seja uma massa ínfima, ele tem uma determinada massa que também vai estar alterando um pouquinho esse movimento.</i></p>
EF8	Não soube responder.
EF9	Não soube responder.
EF10	<p>Aluno 2: <i>Um modelo científico seria, assim, um, uma, esqueci a palavra, uma fórmula que foi desenvolvida para poder analisar os fenômenos que existem na natureza, etc. Então, são conceitos, são idéias, são teorias que foram, que são usadas para poder chegar num, analisar uma experiência, ou algo que aconteceu. Isso é um modelo. E esse modelo tem suas limitações, tem suas possibilidades de erro, mas eles vão sempre evoluindo com o andar do tempo.</i></p>

Passemos agora a uma tentativa de interpretação da entrevista realizada com o Aluno 2. Tais comentários refletem também, e não secundariamente, a interação com o Aluno 2 ao longo dos encontros virtuais síncronos. O objetivo aqui, é buscar evidências de possíveis avanços no domínio conceitual associado ao campo da modelagem de fenômenos físicos, por parte do Aluno 2.

Na nossa interação com o Aluno 2 percebemos a sua dedicação e o seu entusiasmo em realizar as atividades propostas. Somente por motivos particulares é que foi impedido de realizar a Tarefa 10. Durante os encontros virtuais, intervinha frequentemente, procurando estabelecer relações entre aquilo que estava sendo discutido com o conhecimento que havia adquirido durante sua formação acadêmica. Além disso, desde o início do curso o Aluno 2

mostrou ter uma visão sobre Ciência diferenciada da maioria dos participantes, ainda que, especificamente sobre modelos, um tanto confusa. Quanto aos aspectos conceituais envolvidos no processo da modelagem de fenômenos físicos, o Aluno 2 parece ter avançado no domínio dos conceitos de idealização, referente, variável e parâmetro de modelos científicos. Quanto às aproximações, o Aluno 2 reconhece que permaneceu a dificuldade em diferenciar as idealizações das aproximações de um modelo. Quanto à análise da razoabilidade dos resultados obtidos pelos modelos teóricos, o Aluno 2 não parece diferenciar domínio de validade e grau de precisão. Contudo, entende que para aumentar o grau de precisão de um modelo, no sentido de torná-lo mais próximo (adequado) da realidade, é preciso que se modifiquem as idealizações. Quanto aos conceitos de expansão e generalização, não soube exprimir suas idéias. Acreditamos que isso ocorreu devido ao fato de o Aluno 2 não ter lido o último texto de apoio e não ter realizado a Tarefa 10.

Aluno 3:

Atualmente com 30 anos de idade, o Aluno 3 concluiu os cursos de Licenciatura em Matemática, no ano de 2000, e de Especialização em Física, no ano de 2005, em uma universidade privada. Possui experiência didática de 6 anos no ensino médio. Atualmente leciona em três escolas do interior do estado, sendo duas públicas e uma privada, totalizando uma carga horária semanal de 42 horas-aula.

A seguir, são apresentadas algumas de suas concepções sobre modelos e teorias científicas, e sobre a natureza da Ciência em geral, intercaladas a comentários interpretativos, a partir da análise de suas respostas ao QI. A Tabela 9 mostra as respostas do Aluno 3 às questões que compunham o QI.

Tabela 9 – Respostas do Aluno 3 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.

Questões	Respostas do Aluno 3
Q11	<i>Entende-se por modelo científico, a construção do conhecimento através de situações variadas, com o objetivo de sustentar uma teoria, ou ainda criar.</i>
Q12	<i>A teoria científica é uma “lei”; através do estudo de um fenômeno, cria-se uma “lei” (teoria). Ex.: Leis de Newton.</i>
Q13	<i>No contexto da Ciência, verdade é tudo aquilo que podemos provar através de teorias e da experimentação.</i>
Q14	<i>Objetivo da Ciência é trazer benefícios para o homem, levando em consideração o medo que ele tem da natureza. E esse “medo” foi o que motivou o ser humano a desvendar os fenômenos da natureza.</i>
Q15	<i>Conhecimento científico é aquele conhecimento em que precisa-se da teoria e da experimentação, ou seja de um estudo.</i>

As respostas do Aluno 3 ao QI permitem poucas interpretações. Entretanto é possível notar a confusão entre lei e teoria científica. Além disso, o Aluno 3 parece pensar que estas leis (teorias) científicas são descobertas por meio de meticulosos estudos experimentais envolvendo os fenômenos físicos. Nesse sentido, considera que a experimentação exerce um papel crucial na comprovação do conhecimento produzido pela Ciência. Por fim, entende que a produção do conhecimento científico tem como objetivo principal o bem-estar da humanidade.

Durante o curso, a participação do Aluno 3 pode ser resumida, em termos quantitativos, da seguinte forma: esteve presente aos 2 encontros presenciais e participou de 2 encontros virtuais no MBMS. Na plataforma TelEduc, não participou dos fóruns de discussão, realizou 7 tarefas e elaborou o projeto final. A seguir, serão detalhadas as atividades desenvolvidas pelo Aluno 3 de modo assíncrono, mescladas a comentários interpretativos, ao longo das oito semanas do curso.

Na Tarefa 1, o Aluno 3 concorda com as idéias do autor e associa modelo científico à idéia de representação de um fenômeno físico. Além disso, entende que os modelos buscam aproximar as teorias das situações reais. Em suas palavras:

Entendo por modelo científico como representação de fenômenos naturais, estando de acordo com a concepção do autor. Os modelos no ensino da Física têm o papel de descrever situações e aproximá-las da realidade de acordo com a teoria (ALUNO 3).

Na Tarefa 2, o Aluno 3 propõe como tentativa de resposta às questões-foco por ele formuladas, à exceção das duas primeiras linhas da Tabela 10, campos da Física que buscam caracterizar sistemas e fenômenos físicos a partir do estudo de propriedades, comportamentos, situações e problemas específicos. A Tabela 10 mostra as respostas do Aluno 3 às situações apresentadas em Física.

Tabela 10 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 3.

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial.	<i>Qual a vazão máxima de saída da água?</i>	<i>Equação da Continuidade Equação de Bernoulli</i>

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Condução de calor através de uma barra metálica.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Como ocorre a propagação do calor através da barra?</i> • <i>Que fatores influenciam para determinar o fluxo de calor através da barra?</i> 	<i>Condução térmica</i>
Um automóvel fazendo uma curva.	<i>Quais as forças que influenciam esse movimento?</i>	<i>Dinâmica</i>
Um circuito elétrico constituído de uma bateria e lâmpadas associadas em paralelo.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Qual o comportamento da corrente elétrica ao passar por cada lâmpada?</i> • <i>Se fizermos um curto circuito, as lâmpadas terão funcionamento normal?</i> 	<i>Eletrodinâmica</i>
Uma xícara de chá quente em temperatura ambiente.	<i>Qual a energia transferida por esse sistema?</i>	<i>Calorimetria</i>

Na Tarefa 3, o Aluno 3 entende que só faz sentido considerar a carreta como um objeto pontual no caso em que atravessa a ponte de maior extensão. Justifica sua resposta calculando e comparando, corretamente, o erro introduzido por esta simplificação nos dois casos. Contudo, considera que esta simplificação implica em desprezar o atrito dos pneus com o asfalto, o que parece evidenciar a falta de clareza quanto ao enfoque proposto no enunciado do problema, que se restringe à Cinemática.

Na Tarefa 4, perguntado sobre que idealizações estavam sendo feitas na situação apresentada pelo enunciado do problema, o Aluno 3 responde:

As idealizações feitas: a bola sendo considerada como um ponto material, cujas dimensões não interferem no estudo do fenômeno. E também se despreza a resistência do ar (ALUNO 3).

Novamente, sua resposta parece evidenciar a falta de interpretação quanto ao tipo de abordagem (Cinemática) proposta na formulação do problema e, conseqüentemente, da simplificação assumida para solucioná-lo. No que se refere ao motivo pelo qual a situação mostrada na figura é considerada uma “boa aproximação” da situação real, sua resposta é vaga.

As Tarefas 5 e 6 não foram realizadas pelo Aluno 3.

Na Tarefa 8, o Aluno 3 aborda o Princípio da Conservação de Energia Mecânica ao propor uma situação em que uma criança desliza ao longo de um escorregador partindo do repouso. Entretanto não focaliza somente no fenômeno de interesse quando formula as seguintes questões-foco:

Quais as forças que atuam sobre o menino? Qual a energia potencial? Com que velocidade a criança chega ao ponto mais baixo do escorregador (ALUNO 3)?

Ao tratar a situação de forma idealizada, o Aluno 3 despreza os efeitos do atrito e trata a criança como um objeto pontual. Além disso, entende que somente a criança e o escorregador devem ser considerados como referentes, esquecendo-se de levar em conta a Terra. Quanto às variáveis, considera a altura e a velocidade da criança como tais. A aceleração da gravidade e a massa da criança são entendidas como parâmetros. Por fim, ao aplicar o princípio da conservação de energia para a situação proposta, calcula a velocidade da criança no instante em que esta atinge o solo e, com isso, responde somente à terceira questão que formula.

Na Tarefa 9, o Aluno 3 entende que a função a ser escolhida por um físico para ajustar os dados obtidos da experiência em que uma esfera, partindo do repouso, cai no ar é a representada pelo polinômio $H = 12327t^4 - 17051t^3 + 8170t^2 - 1126t$ e justifica sua resposta, escrevendo:

Penso que escolheria a função $H = 12327t^4 - 17051t^3 + 8170t^2 - 1126t$, pois o somatório dos quadrado dos resíduos é bem menor, ou seja, a diferença entre o valor obtido experimentalmente e o valor estimado pela função é o mais aproximado (ALUNO 3).

Nesse sentido, parece possuir uma visão empirista-indutivista, acreditando que o modelo mais adequado é aquele que melhor descreve os dados experimentais, independentemente dos pressupostos teóricos. Quanto à identificação dos parâmetros de ajuste com as grandezas físicas, não manifesta idéia alguma.

A Tarefa 10 não foi realizada pelo Aluno 3.

No Projeto Final, o Aluno 3 se propõe a discutir uma situação em que um carro descreve uma curva numa estrada. Para isso, formula as seguintes questões-foco:

Qual o valor da força que deverá atuar no carro para que consiga vencer a curva? Qual o valor do atrito entre os pneus e a estrada? Qual o valor máximo de velocidade que o carro pode desenvolver sem derrapar na pista (ALUNO 3)?

Contudo, limita-se a identificar os referentes, as variáveis e os parâmetros envolvidos na situação e não propõe solução alguma para as questões que formula.

A seguir, são apresentados trechos da Entrevista Final realizada com o Aluno 3, contendo fragmentos de respostas em português coloquial, por ocasião do segundo encontro presencial.

A entrevista inicia com um breve relato da visão geral do Aluno 3 sobre o curso a distância. Em suas palavras:

Bom, para mim esse curso foi, assim, algo bem diferente, foi uma coisa, assim, até o que foi trabalhado, conceitos que foram trabalhados. Para mim foi muito novo. Totalmente diferente daquilo que eu vi na minha pós-graduação, por exemplo. Eu sou aluna da Matemática e fiz especialização em Física. [...] Então, eu achei, assim, eu tive um pouco de dificuldade, mas eu achei que foi bem trabalhado, só assim, o que precisava na verdade era um pouco de empenho de nós alunos para conseguir entender um pouco mais os conceitos, no que se refere aos meus conhecimentos. Eu achei interessante, bem legal. Nunca havia participado de um curso virtual. Eu gostei. Só que às vezes acontece aquele imprevisto. Tu estás com o horário certo para começar a aula, só que tem uma reunião, tem alguma coisa né. E o bom é que as aulas estavam gravadas. Então, quando você se apertava, você voltava ali e assistia. Teve uma ou duas aulas que eu não pude assistir, que eu pude voltar ali e fazer minhas anotações para poder entender (ALUNO 3).

Com objetivo de condensar as informações relevantes fornecidas pelo Aluno 3, os fragmentos de respostas são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Fragmentos de respostas do Aluno 3.

Questões	Fragmentos de respostas
EF1	<p>Aluno 3: <i>Pois é, foi isso que eu te disse. Até então, eu estava acostumada a retirar o problema, você interpretar, estudar e trabalhar esse problema em sala de aula, né? E o que esse curso fez? Fez com que a gente revisse esses conceitos e aplicasse no problema. Que você idealizasse, na verdade, todos os conceitos no problema, para depois você trabalhar. Nesse sentido eu senti um pouco de dificuldade. Mas hoje, com mais clareza você consegue trabalhar com o aluno e a partir disso você também consegue ver as dificuldades que o teu aluno tem, porque você se coloca na situação do teu aluno. Você tem que começar a visualizar todos esses conceitos que nós trabalhamos num problema, né? De repente em duas linhas ali, você começa trabalhar vários conceitos. Então, você tem que idealizar tudo, para depois partir para a prática com o teu aluno, digamos assim. Achei que ficou bem mais prático, mais fácil. Apanhei um pouco no início. Até nas últimas tarefas, mas foi de grande validade.</i></p> <p>Entrev.: Digamos que tu queiras discutir com os teus alunos o movimento desse mouse [o</p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p>entrevistador faz o <i>mouse</i> do computador a sua frente oscilar num plano vertical]. Como tu abordarias esta situação? Que idealizações tu farias para tratar de forma simplificada esta situação?</p> <p>Aluno 3: <i>O movimento. Que tipo de movimento é esse? O que poderia interferir nesse movimento? Se fosse de repente um outro objeto, será que o movimento seria o mesmo?</i></p> <p>Entrev.: Que modelo tu usarias para dar conta desta situação?</p> <p>Aluno 3: <i>O modelo científico?</i></p> <p>Entrev.: Isso.</p> <p>Aluno 3: <i>O modelo científico: o movimento oscilatório, o pêndulo, né? Partiria dali.</i></p> <p>Entrev.: Que idealizações tu farias para tratar esta situação de forma simplificada?</p> <p>Aluno 3: <i>As idealizações? Bom, vamos lá. [Silêncio] Ah, travei.</i></p> <p>Entrev.: Vou te propor outra situação: uma criança descendo num escorregador. Que idealizações tu farias para tratá-la de forma simplificada?</p> <p>Aluno 3: <i>[Silêncio].</i></p>
EF2	<p>Aluno 3: <i>As idealizações, na verdade, é aquilo que eu vou trabalhar as questões-foco em cima, na verdade, as minhas idealizações. Partindo das idealizações, eu retiro as questões-foco, né? Na verdade, seria isso. Como é que eu posso trabalhar com as idealizações da criança, ou do mouse, né? Por exemplo, da criança, né? [Silêncio]</i></p> <p>Entrev.: Como é que tu poderias tratar esta situação da criança de forma simplificada?</p> <p>Aluno 3: <i>Como assim?</i></p> <p>Entrev.: A criança descendo num escorregador. Digamos que tu queiras estudar o movimento desta criança. Como tu poderias abordar este problema? Como tu trarias esta situação real para dentro da Física?</p> <p>Aluno 3: <i>Eu usaria o fenômeno, né? Procuraria ver que fenômeno nós estaríamos trabalhando ali. Que fenômeno da Física se encaixaria ali? Daí, eu partiria para as questões-foco.</i></p> <p>Entrev.: E para tentares responder estas questões-foco, farias o quê? Que idealizações tu farias para esta situação real?</p> <p>Aluno3: <i>Ah, sim. Teria que desconsiderar o atrito. Teria que desconsiderar que a criança poderia cair do escorregador. Poderia fazer outra trajetória, né? Consideraria apenas o escorregador e a criança. Trataria como o parâmetro, digamos assim, a gravidade, a massa da criança. E daí o que poderia ser uma variável, poderia ser a velocidade, energia.</i></p> <p>Entrev.: E na questão do <i>mouse</i>? Que idealizações tu farias?</p> <p>Aluno 3: <i>Movimento oscilatório, né? Então, o que eu poderia desconsiderar? Eu consideraria somente o mouse. Teria que desconsiderar tudo à volta dele. Consideraria o mouse apenas e o movimento dele.</i></p>
EF3	<p>Aluno 3: <i>Às vezes ele [o modelo] pode aproximar da realidade ou, digamos, do fenômeno. Mas nem sempre, quase sempre ele não aproxima. Algumas coisas aproximam do fenômeno. O modelo que a gente faz aproxima, ou seja, ele fica parecido com o fenômeno de estudo, mas às vezes, quase sempre quando tu vai procurar nos livros tem coisa que sai totalmente fora daquilo que é a realidade.</i></p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p>Entrev.: Tu saberias dar um exemplo de aproximação?</p> <p>Aluno 3: <i>Vamos pegar a força centrípeta, por exemplo. Um carro fazendo uma curva. É uma aproximação não é?</i></p> <p>Entrev.: Esse seria o fenômeno, não?</p> <p>Aluno 3: <i>Tá, o fenômeno. O modelo usaria o carro, né? Aproximação? Ah, não sei.</i></p> <p>Entrev.: Nesta situação que tu propusestes: quais seriam os referentes do teu modelo?</p> <p>Aluno 3: <i>Seriam o carro e a estrada.</i></p>
EF4	<p>Aluno 3: <i>Os referentes são aquilo que eu vou tomar de referência para fazer o estudo. É o ponto de referência da onde eu estou partindo para poder fazer o estudo. Então, por exemplo: se eu trato da criança escorregando, o que eu tenho que levar em consideração? São os objetos, digamos assim, que eu vou levar em consideração para poder fazer o estudo do fenômeno.</i></p> <p>Entrev.: Quais seriam os referentes na situação da criança descendo no escorregador?</p> <p>Aluno 3: <i>A criança e o escorregador.</i></p> <p>Entrev.: Quais seriam os referentes no caso do movimento do mouse?</p> <p>Aluno 3: <i>O mouse.</i></p>
EF5	<p>Aluno 3: <i>O parâmetro é tudo aquilo que não vai variar. É tudo aquilo que é invariável. No caso da criança, o que não vai variar? A gravidade e a massa. A criança não vai mudar de massa. A massa dela vai ser constante. E a gravidade também, né? Esses vão ser os meus parâmetros. Em contra-partida eu tenho o quê? As variáveis. São a velocidade e, conseqüentemente, a energia, né?</i></p> <p>Entrev.: E na situação do movimento do mouse?</p> <p>Aluno 3: <i>Aqui eu vou trabalhar o movimento oscilatório. No movimento oscilatório, eu vou levar em consideração [Silêncio], a gravidade para mim não vai influenciar. Não, vai sim. A gravidade vai influenciar. Essa para mim é um parâmetro. O que eu vou desconsiderar nesse caso para mim é a massa do mouse que não vai influenciar para mim. E a variável aqui vai ser a velocidade com que ele oscila. Ah, eu não posso desconsiderar a massa dele.</i></p>
EF6	<p>Aluno 3: <i>O domínio de validade quer dizer que o modelo serve para algumas situações. Eu vi na tua aula quando nós trabalhamos a queda dos corpos, ele perde o seu domínio de validade, ele deixa ter validade quando eu tenho velocidade extremamente alta. Isso, né? Foi isso que você trabalhou naquele encontro. [...]</i></p>
EF7	<p>Aluno 3: <i>O grau de precisão teoricamente seria o que vai aproximar mais do fenômeno, daquilo que está acontecendo. [...] Digamos assim, quanto menos erro tiver, mais preciso vai ser.</i></p> <p>Entrev.: E porque o teu modelo tem erros?</p> <p>Aluno 3: <i>Porque dependendo do modelo pode ser um erro de medida. Um erro até mesmo nas relações.</i></p> <p>Entrev.: Digamos que os teus instrumentos de medida são muito bons, de forma que os erros não estejam nas tuas medidas e que tu és excelente em Matemática. Por que o teu modelo não descreve exatamente a realidade?</p> <p>Aluno 3: <i>Se os meus aparelhos são bons, se o cálculo é bom? Tudo? Acho que falta daí é [Silêncio].</i></p>

Questões	Fragmentos de respostas
EF8	Não soube responder.
EF9	Não soube responder.
EF10	Aluno 3: <i>Modelo científico para mim é como se fosse uma maneira de a gente aproximar o fenômeno do aluno, digamos assim. Estou falando do aluno. Então, quando eu vou trabalhar um modelo científico com o aluno, eu tenho que criar um modelo para aproximar esse fenômeno físico com que eu estou trabalhando, para o aluno. Como foi tratado no primeiro dia [do curso]. É como se aproximasse da realidade.</i>

Passemos agora a comentários interpretativos da entrevista realizada com o Aluno 3. Tais comentários refletem também, e não secundariamente, a interação com o Aluno 3 ao longo dos encontros virtuais síncronos. O objetivo aqui, é buscar evidências de possíveis avanços no domínio conceitual associado ao campo da modelagem de fenômenos físicos, por parte do Aluno 3.

Desde o início do curso, o Aluno 3 demonstrou pouco interesse pelos encontros síncronos realizados no MBMS, estando presente somente a duas aulas virtuais: a segunda e a sexta aula. Nestes dois encontros, sua participação foi modesta. Suas intervenções foram no sentido de responder apenas o que era questionado pelo professor. Embora tenha assistido às aulas gravadas, o Aluno 3 demonstra dificuldades em relação à maioria dos conceitos envolvidos no processo de modelagem de fenômenos físicos. No que se refere às idealizações, o Aluno 3 entende que as mesmas determinam as questões-foco quando, na verdade, é justamente o contrário. As idealizações dependem fortemente do tipo de abordagem que se faz do problema e, conseqüentemente, das questões-foco que são formuladas sobre o mesmo. Quanto às aproximações, a idéia que parece ter permanecido está associada ao fato de que os modelos científicos são construções que se aproximam dos fenômenos físicos. Em momento algum o Aluno 3 relaciona as aproximações com as simplificações de natureza computacional que são feitas pelos modelos teóricos para auxiliar na descrição matemática de aspectos da realidade. Já os conceitos de referente, variável e parâmetro parecem ter sido assimilados razoavelmente, embora não tenhamos fortes indícios de avanços sobre os mesmos. Quanto aos aspectos conceituais que envolvem a análise da razoabilidade dos modelos, o Aluno 3 não demonstra nenhum tipo de avanço em relação ao domínio de validade, ao grau de precisão, à expansão e à generalização de modelos científicos. Acreditamos que isso se deve ao fato de que o Aluno 3, além de não ter realizado a Tarefa 10, não participou das aulas virtuais em que estes conceitos foram discutidos. Sua resposta à Tarefa 9 corrobora nossa opinião. Por último, embora não tenhamos indícios de que houve avanços no domínio do campo conceitual

associado à modelagem científica por parte deste aluno, podemos afirmar que o curso chamou sua atenção para a necessidade de compreender os diversos conceitos que foram trabalhados e que, segundo ele, jamais haviam sido estudados.

Aluno 4:

Atualmente com 35 anos de idade, o Aluno 4 concluiu o curso de Licenciatura em Física em uma universidade privada, embora tenha realizado grande parte de seus estudos em uma universidade federal. Segundo ele, esta mudança ocorreu em função da incompatibilidade de horários entre as aulas na universidade pública e sua atividade docente. Possui experiência didática no ensino médio de 10 anos. Atualmente é professor de Física em uma escola privada e em três cursos pré-vestibulares, totalizando uma carga horária semanal de 30 horas-aula. Além disso, trabalha em um laboratório de divulgação científica, ligado a uma universidade federal.

A seguir, são apresentadas algumas de suas concepções sobre modelos e teorias científicas, e sobre a natureza da Ciência em geral, intercaladas a comentários interpretativos, a partir da análise de suas respostas ao QI. A Tabela 12 mostra as respostas do Aluno 4 às questões que compunham o QI.

Tabela 12 – Respostas do Aluno 4 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.

Questões	Respostas do Aluno 4
Q11	<i>Um modelo é uma ferramenta que utilizamos para descrever um fenômeno físico, porém um modelo pode não descrever perfeitamente o fenômeno. Ex.: com um software podemos construir uma simulação para descrever a queda de dois corpos com massas diferentes sem a ação do ar, porém sabemos que no ar as quedas dos corpos podem ter resultados diferentes p/ algumas situações. Mas o modelo pode se aproximar de algumas condições.</i>
Q12	<i>A teoria é elaborada para explicar algum fenômeno. A própria teoria sobre a queda dos corpos proposta por Galileu justifica essa resposta, pois ele procurava uma teoria p/ explicar a queda dos corpos, pois acreditava que as idéias aristotélicas não estavam corretas.</i>
Q13	<i>No contexto da Ciência, a verdade dentro das teorias passa por testes. Enquanto uma teoria científica for testada e concordar, ela é dita verdadeira.</i>
Q14	<i>Uma busca por respostas ainda não respondidas pelo homem.</i>
Q15	<i>A distinção se dá de maneira que o conhecimento passa por verificações, enquanto que algumas formas não podem ser verificadas ou testadas.</i>

A concepção de modelo científico do Aluno 4 parece estar associada à idéia de descrição aproximada de um fenômeno físico. Quanto às teorias, entende que as científicas são aquelas que podem ser testadas. Em caso de corroboração, são ditas verdadeiras. Este

também é o critério para a distinção entre o conhecimento científico e as outras formas de conhecimento: a testabilidade. Por fim, entende que a prática científica é a busca por respostas que ainda não foram encontradas pelo homem.

Durante o curso, a participação do Aluno 4 pode ser resumida, em termos quantitativos, da seguinte forma: esteve presente aos 2 encontros presenciais e participou dos 6 encontros virtuais no MBMS. Na plataforma TelEduc, participou dos 6 fóruns de discussão, realizou 9 tarefas e elaborou o projeto final. A seguir, serão detalhadas as atividades desenvolvidas pelo Aluno 4 de modo assíncrono, mescladas a comentários interpretativos, ao longo das oito semanas do curso.

Na primeira semana do curso, ao participar do FD-1, o Aluno 4 discorda do autor da citação apresentada para ser debatida e expõe suas idéias sobre grandezas físicas, quando escreve:

Não concordo, pois dentro da mecânica quântica nem tudo pode ser medido, o próprio princípio da incerteza já deixa isso bem claro. Se quisermos determinar o momento de uma partícula perderemos a sua posição. Mesmo que para um estudante iniciante ao ensino médio ele ainda não conheça a área atômica, o livro deveria ter mais cuidado ao colocar essa afirmação, pois no seu próprio livro de vol. 3 na página 362 e 363 ele fala da incerteza de uma medida dizendo "...quando a precisão de uma medida aumenta a outra diminui..." (ALUNO 4).

Ainda na primeira semana do curso, ao participar do FD-2, o Aluno 4 discorda do autor da citação apresentada para discussão e expõe suas idéias sobre a produção do conhecimento científico, quando escreve:

Não concordo, pois o método da Ciência não se baseia apenas na observação e experimentação, o próprio A. Einstein elaborou sua teoria da Relatividade usando a intuição, diz-se que quando era jovem se questionava sobre o que ele veria se ele viajasse à velocidade da luz olhando para um espelho (ALUNO 4).

Na Tarefa 1, o Aluno 4 parece demonstrar a idéia de que os modelos científicos devem ser entendidos como as representações que melhor aproximam as teorias dos fatos. Em suas palavras:

Um modelo é uma representação de determinados fenômenos, tentando estar mais próximo da realidade. Um modelo é a melhor descrição dos fenômenos naturais buscando aproximar a teoria do evento (ALUNO 4).

Na Tarefa 2, à exceção da primeira e da terceira linhas da Tabela 13, o Aluno 4 propõe como tentativa de resposta às questões-foco por ele formuladas, enunciados de leis que podem servir, eventualmente, de embasamento teórico para a construção de um modelo que represente de forma simplificada a situação apresentada. A Tabela 13 mostra as respostas do Aluno 4 às situações apresentadas em Física.

Tabela 13 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 4.

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial.	<i>Qual a velocidade de escoamento da água?</i>	<i>Teoria Hidrodinâmica de Bernoulli.</i>
Condução de calor através de uma barra metálica.	<i>Qual barra metálica de diversos materiais conduz melhor o calor?</i>	<i>Lei de Fourier</i>
Um automóvel fazendo uma curva.	<i>Qual a velocidade máxima para fazer a curva?</i>	<i>Dinâmica Newtoniana.</i>
Um circuito elétrico constituído de uma bateria e lâmpadas associadas em paralelo.	<i>Qual a corrente total do circuito?</i>	<i>Lei das Malhas de Kirchhoff</i>
Uma xícara de chá quente em temperatura ambiente.	<i>Quanto tempo o chá leva pra atingir a temperatura ambiente?</i>	<i>Lei de resfriamento de Newton</i>

Na segunda semana do curso, ao participar do FD-3, o Aluno 4 propõe uma abordagem cinemática para solucionar a seguinte situação-problema:

Situação-problema: Movimento das pás de um ventilador girando com velocidade angular constante. Questões em foco: Qual a velocidade linear de um ponto qualquer das pás? Qual a aceleração centrípeta de qualquer ponto das pás? Modelo Científico: Considerando cada ponto da pá como um objeto pontual preso em uma haste inextensível e que não sofra atrito com o ar, podemos usar a cinemática para esta situação-problema (ALUNO 4).

Ainda na segunda semana do curso, ao participar do FD-4, o Aluno 4 critica, ao comentar as citações que apresenta sobre modelos, a forma como as idealizações são tratadas em um livro de texto de Física em nível médio, como pode ser visto na Tabela D.4 do Apêndice D.

Na Tarefa 3, o Aluno 4 entende que a carreta só pode ser tratada como objeto pontual no caso em que atravessa a ponte de maior extensão e, ao considerar as implicações físicas desta simplificação, escreve:

Estaríamos considerando que a carreta já teria atravessado a ponte e, no entanto, ela ainda precisaria de mais um segundo (ALUNO 4).

Na Tarefa 4, o Aluno 4 entende que a figura do enunciado do problema é uma aproximação da situação real de jogo porque despreza o efeito da gravidade sobre a bola e, conseqüentemente, faz com que ela chegue ao solo antes dos 4 m da rede. Quanto às idealizações, sua resposta evidencia que não considerou que o enfoque proposto se restringe à Cinemática do problema. Em suas palavras:

Considerar a bola como uma partícula, desprezar a ação da gravidade, desprezar qualquer movimento de rotação da bola (efeito Magnus) e o efeito de resistência do ar (ALUNO 4).

Na Tarefa 5, o Aluno 4 formula questões-foco triviais sobre a simulação computacional, o que parece evidenciar a falta de exploração da mesma. Quanto às idealizações, considera que “a mola deve ser perfeita” (ALUNO 4) nas colisões elásticas, porém não esclarece o que entende por mola perfeita, e que o atrito é desprezado em ambos os tipos de colisões. Quanto aos referentes, entende que somente os vagões são relevantes para descrever o sistema simulado. Além disso, o Aluno 4 considera a massa dos vagões como parâmetros e as velocidades como variáveis.

Na Tarefa 6, o Aluno 4 formula questões-foco triviais sobre a simulação computacional, o que parece evidenciar a falta de exploração da mesma ou de domínio do conteúdo associado. Em suas palavras:

Qual a distância focal da lente convergente? Qual o raio de curvatura do espelho côncavo (ALUNO 4)?

Quanto às idealizações, o Aluno 4 entende que a simulação computacional considera os raios de luz como sendo paraxiais e o meio e as lentes homogêneos. Para ele, os referentes a serem considerados são: o objeto, as lentes e os espelhos. Por fim, utiliza a equação de conjugação de espelhos esféricos e de lentes delgadas para determinar a distância focal da lente convergente e o raio de curvatura do espelho côncavo.

Na Tarefa 8, o Aluno 4 aborda o princípio da conservação de energia através da situação em que uma pessoa, a partir do repouso, desce por um tobogã até o solo. Para isso formula a seguinte questão-foco:

Qual a velocidade que a pessoa deve chegar ao solo se desprezamos as forças dissipativas (ALUNO 4)?

Quanto às idealizações, o Aluno 4 considera a pessoa como uma massa pontual que não sofre os efeitos de resistência do ar e de fricção com a superfície do tobogã. Além disso, considera que os referentes envolvidos na situação são: a pessoa, o tobogã e a Terra. Por fim, ao usar o princípio da conservação de energia mecânica, quando somente forças conservativas estão presentes, determina a velocidade final da pessoa ao chegar no solo.

Na quinta semana do curso, ao participar do FD-5, o Aluno 4 identifica corretamente o fenômeno de interesse da simulação computacional a ser trabalhada, a situação-problema, as idealizações subjacentes à simulação, e os referentes, as relações, as variáveis e os parâmetros envolvidos na construção da mesma, como se pode observar na Tabela D.5 do Apêndice D.

Na Tarefa 9, o Aluno 4 entende que a função que melhor ajusta os dados obtidos da experiência com uma esfera maciça que, partindo do repouso, cai no ar é a função 2 ($H = 500t^2$) e justifica sua escolha, escrevendo:

A melhor candidata é a função 2, pois esta está de acordo com o que a teoria prediz, embora não seja a que melhor se ajusta aos dados obtidos. Não podemos esquecer de que a função prevista pela teoria não leva em conta o efeito do ar na queda (ALUNO 4).

E quanto à identificação dos parâmetros de ajuste às grandezas físicas, considera que o valor numérico 500 cm/s^2 corresponde à metade da aceleração da gravidade.

A Tarefa 10 não foi realizada pelo Aluno 4.

No Projeto Final, o Aluno 4 realiza uma atividade experimental com os seus alunos, envolvendo o princípio da conservação de energia mecânica, em que procura comparar os resultados de um modelo teórico com os dados empíricos obtidos para a seguinte situação de laboratório: uma bola de gude é abandonada do alto de uma rampa e colide, ao chegar na sua parte mais baixa, com outra bola de gude inicialmente em repouso. Esta, por sua vez, é lançada horizontal e obliquamente até tocar o chão do laboratório. Segundo o Aluno 4, se estabeleceu um debate entre os seus alunos, dando origem as seguintes questões-foco:

Em que local no solo a bola 2 atingirá o solo? Qual é a velocidade da bolinha 1 no instante da colisão com a bolinha 2? Qual o tempo de queda da bolinha 2 (ALUNO 4)?

Em seguida, o Aluno 4 constrói com os seus alunos um modelo teórico capaz de ser confrontado com os resultados experimentais. Por fim, uma análise comparativa entre os resultados teóricos e empíricos possibilitou o aprofundamento de questões relacionadas aos erros introduzidos pelas idealizações, aos referentes, às variáveis e aos parâmetros envolvidos no modelo utilizado.

A seguir, são apresentados trechos da Entrevista Final realizada com o Aluno 4, contendo fragmentos de respostas em português coloquial, na ocasião do segundo encontro presencial.

A entrevista inicia com um breve relato da visão geral do Aluno 4 sobre o curso a distância. Em suas palavras:

[...] O que mudou é que em vez de ser numa lousa era a tela do meu computador que era o quadro negro. Eu gostei muito disso. Se é uma iniciativa [no sentido de ser o primeiro curso ministrado a distância pelo IF-UFRGS], está de parabéns. [...] O conceito que eu tinha de EAD passou de 2 para 10. [...] O que eu estou levando do curso é ímpar. [...] Na realidade o que a gente tem é tudo modelos. É que nem aquele dia que tu discutiu: tu tens várias expressões matemáticas que podem prever melhor o experimento que tu está trabalhando, mas qual é que realmente se encaixa, é a que o modelo das leis atuais explica, embora muitas vezes o resultado não seja o melhor, mas aquele modelo é o modelo que realmente está voltado para aquela situação. Claro, que nem como tu disse, daí vem o aperfeiçoamento do modelo, de inserir, por exemplo, outras coisas que tu está desprezando. [...] (ALUNO 4).

Com objetivo de condensar as informações relevantes fornecidas pelo Aluno 4, os fragmentos de respostas são mostrados na Tabela 14.

Tabela 14 – Fragmentos de respostas do Aluno 4.

Questões	Fragmentos de respostas
EF1	<i>Aluno 4: [...] Tu disse, assim, na nossa aula via EAD: não precisa dar essa aula. É preparar com se tu fosses dar aquela aula. Eu te confesso que deu vontade de, como diz o outro, faz ali o trabalho, põe o que tu imaginarias e deu para bola. Pô, aí tu faz todo um curso para fazer isso, não tem cabimento. Tu está atucanado⁸, tem n trabalhos para fazer [...] Não, realmente eu vou aplicar isso. E não vou aplicar isso numa coisa que seria mais corriqueira e mais fácil. [...] A minha estratégia foi essa: o que eu posso aplicar de conteúdo que raramente os professores aplicam conteúdos que envolvem até a parte</i>

⁸ Com o termo “atucanado”, o Aluno 4 quis dar a entender que estava assoberbado de atividades, além do curso a distância.

Questões	Fragmentos de respostas
	<p><i>experimental e teórica: as leis de conservação. [...] Nessa quinta-feira eu tive uma das turmas que eu tive dois períodos na parte experimental, que eu fiz, vamos dizer assim, a colocação que eu acho que deveria ter sido feita desde o princípio que eu comecei a dar aula [...] de que tudo que eles viram não são mais do que meros modelos. Que necessariamente eles não cumprem à risca o fenômeno, talvez, exatamente como eles observam. Que foi exatamente o que eu perguntei para eles: vocês acham que esse modelo teórico que vocês tão aí fazendo as estimativas da posição onde a bolinha deve cair, vocês acham que vão acertar exatamente nela? A cara deles foi maravilhosa. Eles me olharam e disseram, não. Aí, eles já começaram: não, tem força de atrito, que vai fazer que a previsão não aconteça. Tem várias coisas que nós estamos deixando de fora, que vai interferir no resultado. Acho que teve aplicação.</i></p>
EF2	<p>Aluno 4: <i>As idealizações elas vão, por exemplo, que nem o fenômeno que a gente estudou, elas propõem um resultado eliminando algumas condições que de certa forma não teria como determinar elas diretamente. Então, eu vou tentar vislumbrar um modelo em condições ideais que tentem se aproximar de um modelo real que eu tenho na prática. Essas idealizações podem ser aprimoradas, inserindo mais condições à medida que o conhecimento evolui, que as ferramentas matemáticas vão evoluindo. Aquelas condições que ficaram de fora podem ser inseridas no modelo, melhorando, mais ainda, os resultados previstos a partir das minhas idealizações.</i></p> <p>Entrev.: <i>Digamos que tu queiras discutir a seguinte situação com os teus alunos: a criança descendo num escorregador. Que idealizações tu farias para tratar desta situação?</i></p> <p>Aluno 4: <i>Eu vou ter que desprezar efeitos de atrito. Eu vou ter que desprezar o atrito no caso com a rampa, assim como o atrito com o ar. Isso são idealizações que eu vou ter que fazer para imaginar que velocidade ela teria na base desse escorregador. É óbvio que esse modelo que tem essas idealizações, onde eu estou excluindo algumas condições vão representar uma situação verídica para determinadas condições. Não vai dar exatamente a realidade. Mas tende a se aproximar muito da realidade. Para mim, as idealizações, esses modelos com idealizações, eles são importantes porque não quer dizer realmente que tenha que funcionar daquela forma, até porque, boa parte dos conteúdos que a gente trabalha no ensino médio, a gente despreza realmente os efeitos do ar, isso são idealizações. A gente despreza o tamanho dos corpos. Isso são idealizações. Assim como o tamanho da criança passa a ser um objeto pontual, mas não é pontual. A gente sabe que o caminhão ao atravessar uma ponte, eu comento isso muito com os meus alunos, dependendo da situação o tamanho do caminhão é relevante, outras não. Qual é a condição que interessa? Isso vai depender do problema que ele propõe para a gente. [...] E na Dinâmica também a gente vê isso. Porque na Cinemática a gente passa fazendo idealizações a respeito do atrito, na Dinâmica a gente passa inserir o atrito, ou seja, a gente vem trabalhando com modelos que vem se aperfeiçoando. As idealizações vão se reduzindo. Acho que isso não é comentado com os alunos. Acho que isso é um ponto importante. [...] O corpo cai em queda livre e está sendo desprezado o efeito do ar. Mas na Dinâmica, a gente já pode observar os efeitos, que no caso da força de atrito depende da velocidade, eu já posso até calcular isso, mostrar que tem parâmetros que dependem da forma. Eu posso comentar isso para o meu aluno? Posso. E aí eu posso mostrar para ele que uma coisa que eu tava desprezando antes, agora passa a ter efeito e eu posso até ver qual efeito isso age sobre o meu corpo. Então, aquela idealização cai fora e eu passo a ter um modelo mais próximo do real.</i></p>
EF3	<p>Aluno 4: <i>Se a gente for falar de modelos, nessa terça, mencionando isso, a questão das aproximações, eu dei uma palestra lá no cursinho falando um pouco da Astronomia, desde a pré-história até a Astronomia Moderna, e chegou um ponto que eu estava discutindo o modelo de Ptolomeu e aí eu mostrei para os alunos que o modelo de Ptolomeu tinha essas características, onde tinha o epiciclo, o deferente e a busca dele era tentar, diferentemente dos modelos gregos, obter um ajuste melhor da posição dos astros no céu. Aí quando o Copérnico desenvolve o modelo dele, heliocêntrico, talvez, isso é uma coisa que não fica claro. A impressão é que quando tu desenvolve do geocêntrico para o heliocêntrico, é um modelo melhor, que tem resultados melhores que o anterior. E, na verdade, se parar para analisar, tu tem dois modelos que diferem muito pouco em termos de medida, e daí, como é que tu ficas em termos de aproximações? Isso eu mostrei para os meus alunos, que na</i></p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<i>realidade tu tinha dois modelos, modelos, porque aquilo ali não era observado para época. Aquilo ali, eles não fizeram as observações para dizer: é, realmente, o universo é geocêntrico ou heliocêntrico. Aquilo eram modelos que os dois imaginaram. E o que eles fizeram? A partir dos modelos, eles começaram a verificar qual deles tinha as melhores previsões para os astros. Então, eles tinham, vamos dizer assim, aproximações, dos resultados deles com os que nós tínhamos do céu, medidos. E qual modelo ficar? Se as aproximações eram muito semelhantes. Não é verdade?</i>
EF4	Aluno 4: <i>Sim, os referentes: a criança, a Terra, o escorregador. São os objetos que eu tenho internamente ao meu sistema. Bom, eu acho que isso aí me acrescentou um pouquinho. Porque na realidade eu já tinha um bom conhecimento disso. Eu acho que, em relação aos referentes, determinar os referentes em alguma situação que outra tu tem que pensar um pouco mais. Isso muitas vezes é como eu te falei: faz tu parar para pensar quem são os meus objetos de interesse dentro do problema, resumidamente, os referentes. [...] Quando tu tem um sistema, onde tu tens dois corpos que vão sofrer colisões, será que esse objeto que está aqui ao lado, faz parte desse sistema? [...] Ou quando a gente trabalha com um sistema que contém um gás com moléculas: quais são os referentes? Quem são os objetos que na realidade vão alterar, trocar, suas grandezas entre si, que nem quantidade de movimento e velocidades que vão tá se alternando. Então, eu acho que nisso aí, houve um acréscimo? Houve. Nada que foi aqui, eu posso dizer: não acrescentou nada. Se eu dizer isso, eu estou mentindo. Tudo teve um acréscimo. [...] Eu nunca tinha parado para pensar na questão das idealizações, dos referentes. Ah, tem os parâmetros, né? A gente fala para o pessoal: ah, isso é uma constante. Na lei de Coulomb o k é uma constante. Mas o que isso indica? [...]</i>
EF5	Essa pergunta não foi feita ao Aluno 4, explicitamente.
EF6	Aluno 4: <i>Bom, isso até com a atividade experimental deu para comentar isso né. Até que ponto vale o modelo que a gente está utilizando, né? Esse modelo, de conservação de energia, que eu coloquei, assim: vou fazer uma proposta para vocês, a gente vai utilizar um sistema conservativo. Agora a pergunta: esse modelo é válido? Ele tem validade para qualquer situação. Aí, eles começaram a pensar também a respeito disso. Até que ponto esse modelo de conservação, onde tu desprezas a ação do ar, é válido? Talvez, para pequena altura da rampa, o efeito do ar é praticamente desprezível. Então, para aquele modelo, ele tem um certo domínio, ele tem uma validade, vamos dizer assim, a precisão ali, vai ficar muito próxima do resultado que a gente tava querendo atingir. Agora, se tu pensar em botar aquela bolinha, aqui em cima do prédio, onde nós temos que colocar o papel lá embaixo, provavelmente, esse modelo já começa a ter problemas. Então, o domínio dele já começa a perder validade. Porque? Porque as idealizações que eu fiz já não vão ser mais tão irrelevantes.</i>
EF7	Esta pergunta não foi feita ao Aluno 4, explicitamente.
EF8	Aluno 4: <i>Acho que a expansão entra a questão que nem eu comentei contigo no início. Se realmente a gente for levar ao pé da letra a bolinha que desce a rampa, eu poderia expandir para ter um resultado melhor ainda considerando a energia rotacional da bolinha, né? Então, aí eu vou expandir em um termo a mais, dentro das leis de conservação, que não tinha antes. [...] Aí entre essas expansões dos modelos que a gente, vamos dizer assim, se tu tens um pouco mais de tempo para trabalhar com os alunos, que nem, por exemplo, eu desenvolvi essa experiência e mostrei para eles: o modelo, hoje, tem essa característica. Tu consideras uma carga pontual que está descendo uma rampa. Mas a gente observa que na realidade, não é um objeto que desce simplesmente escorregando. Ele desce girando. Então, a bola também tem uma energia cinética rotacional que eu não estou levando em conta. Mas esse modelo pode ser expandido, agregando esse fator e obtendo um resultado melhor.</i>
EF9	Aluno 4: <i>E a generalização seria o que eu poderia ter feito, dizendo assim: o modelo é isso aí e serve para qualquer rampa que tu quiseres trabalhar. O aluno teria uma idéia de que aquelas leis de conservação, que só tem energia cinética do objeto que desce e a potencial são as únicas que são aplicadas, eu posso aplicar para qualquer modelo. E, isso eu acho que passa a ser perigoso. A generalização tem que ter um certo cuidado.</i>
	Entrev.: Quando nós usamos a idéia de sistema planetário para descrever o

Questões	Fragmentos de respostas
	<p>comportamento da matéria, do ponto de vista microscópico, tu consideras uma expansão ou uma generalização?</p> <p>Aluno 4: <i>É, se tu pensar em todos os sistemas, onde tu tem um corpo que está girando ao redor de um ponto central, acreditar que aquele modelo que explica aquele fenômeno pode explicar para qualquer fenômeno que tivesse rotação [...]</i></p>
EF10	<p>Aluno 4: <i>Um modelo, vamos dizer assim, obedece a um conhecimento que a pessoa vai formular a partir do que ela imagina a respeito de um fenômeno. Esse modelo científico que ela escreve tenta se aproximar, o melhor possível, da realidade. A busca basicamente é essa. Então, um modelo científico é tentar buscar uma modelagem, a própria palavra diz isso, uma modelagem do que nós temos na realidade. E, esse modelo científico pode passar por idealizações, que nós já comentamos aqui. Esses modelos científicos podem passar por expansões, pode ser melhorado ou, até mesmo, cair fora. Um modelo científico não é também a palavra final. Eu acho que isso é uma coisa que eu aprendi, a gente obedece um modelo, por que hoje nós temos algumas leis que na realidade predizem que aquele modelo é o melhor, embora no próprio artigo que a gente leu, tu conseguir a partir dos dados obter equações com os dados até melhores. Então, porque não abandonar o modelo quando tu tens até resultados melhores com outros “modelos”. A gente só não abandona, porque existe, vamos dizer, esse modelo científico, esse modelo conceitual, que prediz aquela situação.</i></p>

Passemos agora a comentários interpretativos da entrevista realizada com o Aluno 4. Tais comentários refletem também, e não secundariamente, a interação com o Aluno 4 ao longo dos encontros virtuais síncronos. O objetivo aqui, é buscar evidências de possíveis avanços no domínio conceitual associado ao campo da modelagem de fenômenos físicos, por parte do Aluno 4.

Desde o início do curso, o Aluno 4 mostrou interesse pelo conteúdo que seria trabalhado e, principalmente, em participar dos encontros virtuais no MBMS. Seu empenho ao longo do curso pode ser considerado satisfatório. Nas aulas virtuais, sua participação foi intensa. Sempre que intervinha nas discussões, buscava trazer exemplos da Física e expor suas dúvidas de forma clara para os demais. Nesse sentido, acreditamos que parte do entusiasmo do Aluno 4 foi motivado pelo fato de que o curso *Fenômenos físicos e modelos científicos* dispunha de uma estrutura virtual de aprendizagem, até então, não vivenciada por ele em outras oportunidades. Cabe ressaltar que o Aluno 4 e o Aluno 1 eram os únicos que já haviam participado de outros cursos a distância, inclusive tendo cursado disciplinas de graduação inteiramente à distância. Quanto às questões de conteúdo, o Aluno 4 parece demonstrar avanços no domínio da maioria dos conceitos envolvidos no processo de modelagem de fenômenos físicos. Segundo ele, o acréscimo se deu em todos os aspectos conceituais: em alguns, mais do que em outros. Contudo, o Aluno 4 não parece ter compreendido a íntima relação que se estabelece entre as idealizações e o tipo de abordagem que se pode propor às situações-problema, embora o conceito em si, de idealização, parece ter sido corretamente

incorporado à sua concepção de modelo científico. Quanto às aproximações, aos referentes, às variáveis e aos parâmetros envolvidos na construção de modelos científicos (e computacionais), o Aluno 4 apresentou certa facilidade desde o início do curso. Assim, acreditamos que os maiores avanços tenham sido na explicitação dos aspectos conceituais relacionados à análise da razoabilidade dos modelos, em particular, da confrontação entre os resultados teóricos e os resultados empíricos. As discussões que estabeleceu com os seus alunos, quando da implementação do seu projeto final, corroboram nossa opinião.

Aluno 5:

Atualmente com 45 anos de idade, o Aluno 5 concluiu o curso de Licenciatura em Física no ano de 1999 em uma universidade federal. Possui experiência didática no ensino médio de 8 anos. Atualmente leciona em duas escolas: uma da rede estadual, com carga horária semanal de 18 horas-aula, e outra da rede privada, com carga horária semanal de 9 horas-aula. Na escola pública, acumula a função de coordenador da disciplina de Física desde o ano de 2001. Na escola privada, é coordenador e professor regente do laboratório de atividades experimentais de Física.

A seguir, são apresentadas algumas de suas concepções sobre modelos e teorias científicas, e sobre a natureza da Ciência em geral, intercaladas a comentários interpretativos, a partir da análise de suas respostas ao QI. A Tabela 15 mostra as respostas do Aluno 5 às questões que compunham o QI.

Tabela 15 – Respostas do Aluno 5 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.

Questões	Respostas do Aluno 5
Q11	<i>Modelo científico pode-se entender como uma maneira de modelar um fenômeno científico de alguma forma que seja possível de entender o que ocorre na natureza. O modelo é algo que pode ser mutável quando não consegue mais explicar o que ele havia se proposto. Um exemplo: modelo atômico: que durante muito tempo foi “explicado como algo indivisível”, depois vemos que outros modelos foram apresentados como uma maneira de ser mais completo, como o modelo de pudim de passas, depois de um tempo ele não mais serviu. Havendo assim uma nova mudança por novas teorias que foram mostradas forçando a uma nova mudança onde o átomo “toma” uma nova forma com novas partículas envolvidas.</i>
Q12	<i>Uma teoria científica pode ser entendida como uma maneira de explicar como um fenômeno acontece ou como se originou, não pode se dizer que há apenas uma teoria científica verdadeira ou única, mas uma que melhor explique ou que melhor seja aceita pela comunidade científica. Uma teoria deve ter um fundamento e que esteja baseada em todo um conhecimento adquirido pelos que se envolveram no estudo e pesquisa. Um exemplo seria a Mecânica Clássica que conseguia explicar muitos fenômenos e eventos que ocorriam, mas houve um momento em que ela, a Mecânica Clássica não conseguiu</i>

Questões	Respostas do Aluno 5
	<i>“explicar” alguns fenômenos, então foi preciso que houvesse uma nova forma de ver esses fenômenos onde conseguíssemos obter “explicações” que fossem melhor compreendidas. Mas devemos de alguma forma não descartar totalmente uma “velha” teoria para colocar uma “nova” no lugar, mas ver se realmente ela contempla aos propósitos que ela veio contribuir.</i>
Q13	<i>Bem, no contexto da Ciência, acho que seria algo absoluto. Em outros termos, não sei se entendi, verdade algo como o que não pode ser refutado. O que está certo? Bem, então não existem teorias verdadeiras. As teorias apenas tentam de alguma forma explicar os fenômenos, e não dizer o que está realmente acontecendo. As teorias servem apenas como o homem vê o evento, o fenômeno, mas pode ser que o que esteja acontecendo tenha outra explicação que ainda não tenhamos percebido com a nossa inteligência e sentidos.</i>
Q14	<i>O objetivo maior é tentar explicar como a natureza se organiza, acho que sou um pouco “cartesiana” em ver a natureza e os seus fenômenos.</i>
Q15	<i>Bem, do meu ponto de vista o conhecimento científico é algo que uma sociedade utiliza para que se possa modelar o seu conhecimento de uma forma que todos possam se comunicar e fazer Ciência. Através de um procedimento comum a todos de um grupo, ou sociedade. Que deve ser obedecido. O que não acontece na para-Ciência, onde outros procedimentos são obedecidos e podem ser de outra ordem.</i>

A concepção de modelo científico do Aluno 5 parece estar associada ao processo de delineamento das características de um fenômeno físico. Esse delineamento resulta em explicações sobre a natureza que podem sofrer modificações dando origem a novos modelos e teorias. Como exemplo, cita as diversas mudanças que foram sendo incorporadas às explicações da estrutura da matéria em nível microscópico. Quanto às teorias científicas considera que, assim como os modelos, podem apresentar falhas em suas explicações sobre os fenômenos físicos. Como exemplo, cita as insuficiências que foram apresentadas pela teoria da Mecânica Clássica após o período em que forneceu “boas” explicações para muitos fenômenos da natureza. Além disso, pensa que não existem teorias científicas verdadeiras, mas sim, teorias que são aceitas pela comunidade científica. Em sua visão, o objetivo maior da Ciência é explicar como a natureza se apresenta. Por fim, parece entender que o conhecimento científico se distingue das outras formas de conhecimento pelo fato de que obedece a critérios explicativos específicos que, por sua vez, permitem a comunicação entre os cientistas.

Durante o curso, a participação do Aluno 5 pode ser resumida, em termos quantitativos, da seguinte forma: esteve presente aos 2 encontros presenciais e participou de 5 encontros virtuais no MBMS. Na plataforma TelEduc, participou de 2 fóruns de discussão, realizou 8 tarefas e elaborou o projeto final. A seguir, serão detalhadas as atividades desenvolvidas pelo Aluno 5 de modo assíncrono, mescladas a comentários interpretativos, ao longo das oito semanas do curso.

Na Tarefa 1, o Aluno 5 concorda com a opinião do autor e parece demonstrar a idéia de que os modelos científicos devem ser entendidos como representações da realidade que são construídas a partir das leis e teorias científicas. Ao comentar o texto apresentado na tarefa, escreve:

Levando em consideração que o texto apresentado é para alunos do ensino médio, acho que é bom, pois consegue mostrar e enfatizar que o modelo é uma representação da realidade (ALUNO 5).

Na Tarefa 2, o Aluno 5 formula questões-foco demasiado gerais e procura caracterizar as situações apresentadas, à exceção das duas primeiras, estabelecendo analogias com outras situações familiares. A Tabela 16 mostra as respostas do Aluno 5 às situações apresentadas em Física.

Tabela 16 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 5.

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Por que as caixas d'água ficam localizadas no telhado das casas?</i> • <i>A água que abastece uma residência é fornecida por um poço artesiano. As tubulações da residência estão ao nível do solo, como os moradores farão para consumir a água do poço?</i> 	<i>Vasos comunicantes (Lei de Stevin)</i>
Condução de calor através de uma barra metálica.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Por que os cabos das panelas são de madeira ou plástico?</i> • <i>Porque a neve é melhor isolante que o gelo?</i> 	<i>Barra metálica com extremidades a diferentes temperaturas.</i>
Um automóvel fazendo uma curva.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Por que você inclina sua bicicleta para o lado quando faz uma curva?</i> • <i>Por que pistas para grandes velocidades são mais altas na parte externa da pista?</i> 	<i>Girar uma bola presa a um fio.</i>

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Um circuito elétrico constituído de uma bateria e lâmpadas associadas em paralelo.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Em um circuito em paralelo comente sobre o que acontece com a tensão sobre cada aparelho associado no circuito.</i> • <i>Porque nas residências, as lâmpadas estão ligadas em paralelo?</i> 	<i>Fluxo de água (vazão) de um cano semelhante à intensidade de corrente. Vazão de um cano largo dá a mesma vazão quanto de vários canos estreitos em um mesmo reservatório. Modelo hidrostático.</i>
Uma xícara de chá quente em temperatura ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>O que acontece com a xícara de chá à temperatura ambiente?</i> • <i>Quem cede calor o ambiente ou xícara de chá?</i> 	<i>Sistema fechado com dois corpos a diferentes temperaturas. Da mesma forma que a água em um tubo em U tende a ficar em um mesmo nível corpos a diferentes temperaturas tendem a ficar a mesma temperaturas.</i>

Na segunda semana do curso, ao participar do FD-3, o Aluno 5 propõe uma situação-problema dentro da Mecânica, envolvendo a Terceira Lei de Newton. Em suas palavras:

Situação-problema: Um menino ao andar distraído pela rua chuta sem querer uma pedra com força. A pedra permanece na mesma posição inicial. Questão-foco: Utilizando os seus conhecimentos de dinâmica responda: Por que o menino sentiu dor no pé em que chutou a pedra? Idealizações: Dinâmica – 3ª lei de Newton. Sistema isolado: pé-pedra. Não foi considerado o esforço muscular. O menino está descalço. Sistema de partículas pontuais. Evento ocorre no vácuo. O pé do menino faz apenas um movimento de translação (ALUNO 5).

Ainda na segunda semana do curso, ao participar do FD-4, o Aluno 5 volta a manifestar a idéia de que os modelos podem ser entendidos como explicações, construídas a partir de hipóteses e analogias, que se aperfeiçoam no tempo, ao comentar uma das citações que extraí de um livro de texto de Física em nível médio, disponível na Tabela D.4 do Apêndice D.

Na Tarefa 3, ao considerar as implicações físicas que decorrem de considerar a carreta como um objeto pontual, o Aluno 5 escreve:

Podemos dizer que quando consideramos uma partícula pontual estamos desprezando as dimensões da carreta e no caso da situação-problema estaríamos simplificando muito o nosso sistema (ALUNO 5).

Além disso, entende que a simplificação sempre pode ser feita, desde que resulte em um grau de precisão desejado. Em suas palavras:

Podemos concluir que em ambos os itens a carreta pode ser considerada como uma partícula pontual, mas quando houver a necessidade de uma precisão maior, com erros inferiores a 1%, a carreta não poderá ser considerada partícula pontual, pois deveríamos considerar três ou mais algarismos significativos, onde a carreta não seria mais uma partícula pontual (ALUNO 5).

Na Tarefa 4, o Aluno 5 entende que as idealizações consideradas no enunciado do problema foram as seguintes:

A bola como uma partícula pontual. A bola descrevendo um movimento retilíneo uniforme. Desprezou-se a resistência do ar, pois ela está no vácuo (ALUNO 5).

Na Tarefa 5, o Aluno 5 formula questões-foco triviais a respeito da simulação computacional. Em suas palavras:

Determine a velocidade de cada vagão após a colisão elástica. Determine a velocidade de cada vagão após a colisão inelástica. Compare a energia cinética de cada vagão após os choques elástico e inelástico. Justifique a sua resposta (ALUNO 5).

Além disso, as respostas do Aluno 5 evidenciam confusão entre as idealizações, algumas definições da Física e fatos conhecidos sobre o fenômeno de que trata a simulação computacional. Em suas palavras:

Móvel como partícula pontual. Superfícies planas sem atrito. Choques frontais. Molas perfeitamente elásticas sem massa (aparecem nas colisões elásticas). Ganchos sem massa (aparecem nas colisões inelásticas). Quantidade de movimento é uma grandeza vetorial. Quantidade de movimento do sistema imediatamente antes da colisão é igual à quantidade de movimento imediatamente após a colisão. Colisão perfeitamente elástica: a energia cinética antes e após a colisão se conserva. Colisão perfeitamente inelástica: a energia total não se conserva após a colisão (ALUNO 5).

No que se refere aos referentes, o Aluno 5 considera o sistema de vagões, a superfície sem atrito e a ausência de resistência do ar como tais. Por fim, considera como variáveis do problema, as próprias colisões elástica e inelástica. Já a massa e a velocidade inicial dos vagões são entendidas como parâmetros.

Na Tarefa 6, o Aluno 5 formula duas questões-foco que justificam o uso da simulação computacional apresentada como recurso auxiliar no estudo de fenômenos luminosos. Em suas palavras:

Como você faria para obter uma imagem duas vezes maior de um objeto, usando um espelho côncavo? Em qual posição o objeto deverá ser colocado? Em uma lente convergente, o que ocorre com a imagem do objeto colocada perpendicularmente ao eixo principal a uma distância de 20 cm da distância focal de 10 cm (ALUNO 5)?

Quanto às idealizações, o Aluno 5 entende que a simulação computacional representa a luz por um conjunto de raios de luz que se propagam em linha reta e as fontes luminosas como sendo puntiformes. Já o objeto, as lentes (convergentes e divergentes) e os espelhos (côncavos e convexos) são entendidos como os referentes pelo Aluno 5. No que se refere às variáveis e parâmetros, suas respostas evidenciam a confusão de ambos com os referentes. Do seu ponto de vista, as variáveis envolvidas seriam as lentes e os espelhos. Os parâmetros: o objeto, a imagem e o foco.

Na Tarefa 8, o Aluno 5 contextualiza o fenômeno de interesse da conservação de energia ao discutir a produção de energia elétrica em uma usina hidrelétrica. Em suas palavras:

A Usina de Itaipu é uma empresa multinacional geradora de energia elétrica e está situada entre o Brasil e o Paraguai. Possui 20 turbinas/geradores, mas duas ficam sempre de reserva, com uma capacidade proveniente de 18 turbinas/geradores, cada uma com a capacidade de 700.000kW. Na Usina de Itaipu, o rio Paraná despeja, a cada segundo, 100mil toneladas de água de uma altura de 130metros (ALUNO 5).

Em seguida, o Aluno 5 formula duas questões-foco sobre a situação que propõe. Em suas palavras:

Calcule a energia potencial que essa usina pode gerar a cada segundo. Qual a velocidade com que a água move as turbinas (ALUNO 5)?

Ao tratar o fenômeno de forma simplificada, propõe que se considerem as seguintes idealizações:

A porção de água igual como partícula pontual. A porção de água parte do repouso. A água possui apenas o movimento de translação. O evento ocorre no vácuo. Toda energia potencial se transforma em energia cinética. Imaginando que a turbina encontra-se a 130m de onde a água cai (ALUNO 5).

Ao propor uma solução para o problema, identifica os referentes como sendo a porção de água (massa de água), a turbina e a Terra. Além disso, entende que as variáveis a

serem consideradas são a altura e a velocidade de queda da água. A massa de água e a aceleração da gravidade são consideradas como parâmetros. Por fim, para responder as questões-foco, aplica o princípio da conservação de energia, desprezando os efeitos das forças dissipativas. Contudo, em momento algum discute a razoabilidade da solução encontrada.

As Tarefa 9 e 10 não foram realizadas pelo Aluno 5.

No Projeto Final, o Aluno 5 estuda o movimento de um automóvel ao executar uma curva, do ponto de vista da Dinâmica, partindo de uma situação idealizada, típica de livros de texto de Física. Em suas palavras:

Um automóvel desloca-se numa pista plana, retilínea e horizontal com certa velocidade, quando então entra numa curva de raio igual a 100 m. Sabendo que o coeficiente de atrito estático entre os pneus e o chão é de 0,2, determine o valor da velocidade para que o carro não derrape na curva. Considere a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 (ALUNO 5).

Adicionalmente ao questionamento presente no enunciado, o Aluno 5 formula as seguintes questões-foco:

A velocidade máxima para que ele não derrape na pista depende da massa do automóvel? Porque curvas fechadas são mais perigosas (ALUNO 5)?

Para respondê-las, propõe utilizar o modelo científico da Mecânica Clássica. Embora o automóvel esteja sujeito a uma força centrípeta de magnitude constante e sendo considerado como uma massa pontual, em momento algum o Aluno 5 se refere ao modelo de partícula ligada em movimento circular uniforme. As idealizações que faz, são as seguintes:

Tratar o automóvel como uma massa pontual. Que exista apenas o atrito estático, supondo que os pneus do automóvel não derrapem, pois não há deslizamento entre o pneu e a pista. Resistência do ar desprezível. Aceleração da gravidade constante. Sistema automóvel e pista (ALUNO 5).

Além disso, entende que a Terra, o automóvel, a pista e o meio são os referentes do modelo que utiliza. E a pergunta que fica, é: porque considerar o meio como um referente, se a resistência do ar foi desprezada? Quanto às variáveis, o Aluno 5 identifica o raio da curva e a velocidade do automóvel como tais. Já a massa do automóvel, a aceleração da gravidade e o coeficiente de atrito estático são entendidos como parâmetros. Por fim, ao construir um diagrama de forças para o automóvel e aplicar a Segunda Lei de Newton, determina o valor da

velocidade máxima para que este possa executar a curva, mas em momento algum discute a razoabilidade da solução que encontra.

A seguir, são apresentados trechos da Entrevista Final realizada com o Aluno 5, contendo fragmentos de respostas em português coloquial, na ocasião do segundo encontro presencial.

A entrevista inicia com um breve relato da visão geral do Aluno 5 sobre o curso a distância. Em suas palavras:

Eu comecei a olhar a Física de outra maneira. Bem isso. Eu já vinha com um projeto com os meus alunos de explicar a Física dizendo que ela tenta representar situações reais através de modelos. Isso eu sempre enfatizei em aula e foi o que me fez vir a fazer o curso, para ter mais subsídios para passar isso para o aluno. Por que ele acha que a Física, aquela fórmula, representa a realidade, como se fosse a realidade, e não um modelo criado. E, eu acho que essa é a grande dificuldade da gente falar com eles. Mostrar a realidade e o modelo, né. O modelo representa, mas não é a realidade. E foi satisfatório. Era o que eu pensava mesmo: que é difícil. Não é tão fácil a gente trabalhar com o aluno, se a gente também tem dificuldade, por causa da graduação não é muito né, pelo menos na graduação não fica, estanque isso, para o pessoal mais da licenciatura que a gente trabalha com modelos. Tu vai aprendendo e vai aplicando nos alunos o que é passado para ti (ALUNO 5).

Com objetivo de condensar as informações relevantes fornecidas pelo Aluno 5, os fragmentos de respostas são mostrados na Tabela 17.

Tabela 17 – Fragmentos de respostas do Aluno 5.

Questões	Fragmentos de respostas
EF1	<p>Aluno 5: <i>Eu acho que é bem possível. Só que ela não elenca mais tanto o conteúdo, não é mais resolver fórmulas, que eu acho que é essa a proposta de estudar através de modelos. Que não é só decorar a fórmula, a mera aplicação da fórmula. Então, essa era a visão que eu queria para mim, mesmo. Não é decorar. Por que se tu pões a fórmula no quadro, o teu aluno teria que tirar 10. Se a Física é só formulas, bota lá todas as fórmulas, que o aluno tira 10. Então, na verdade, o que está embutido na fórmula é só o resultado de todo o estudo da Física. Não tem que dar a fórmula e depois explicar para o aluno. Tu tens que explicar para o aluno e no fim tu apresenta a fórmula. Não é só a questão da Física conceitual, como tu até tinhas falado no primeiro encontro. Tu não podes só pensar a física conceitual e não aplicar fórmula. Eu acho que tu tens que fazer esse casamento. E através do que tu apresentastes para nós, a gente vê que dá realmente para fazer isso. Só que essa abordagem, para quem está trabalhando de um jeito, é difícil de começar. Mas a gente tem que tentar. [...]Tu tentou fazer com a gente refletisse o que a gente está fazendo. [...]</i></p> <p>Entrev.: Digamos que tu queiras discutir com os teus alunos a seguinte situação: o movimento de oscilação desse <i>mouse</i> [o entrevistador faz o <i>mouse</i> do computador a sua frente oscilar num plano vertical]. Como tu poderias tratar esta situação, utilizando a mesma abordagem do curso?</p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p>Aluno 5: <i>Primeiro, pode ser qualquer coisa pendurada: pode ser até uma borracha numa corda. Primeiro demonstrar. Acho que eles [os estudantes] são muito da imagem. Vai ter que demonstrar e deixar eles perceberem o que está acontecendo. Daí tu podes enfatizar que tipo de movimento é esse. [...] Questionar os parâmetros e induzir que eles vejam que coisas não vão se modificar e que coisas vão ser modificadas. E depois é que eu vou equacionar tudo isso aí para eles e mostrar [...] Agora, é difícil? É. Com os alunos que a gente tem hoje [...]</i></p> <p>Entrev.: E como tu farias para discutir a passagem desta situação real para o equacionamento do modelo?</p> <p>Aluno 5: <i>Eu, particularmente, começaria a questionar que nesse objeto real, eu vou ter n coisas que vão estar interferindo, eu não vou estar numa situação ideal, que seria no vácuo, sem resistência do ar. O que vai acontecer se tiver resistência do ar? E, essa corda? Se essa corda é muito fininha, ela vai ter uma certa massa. Vai interferir ou não vai interferir? Vai questionando isso, até a gente ver que não daria para resolver este problema com um monte de variáveis que nós temos. Então, o que vai acontecer? Eu vou precisar começar a diminuir aquelas coisas que não tem como a gente calcular, que não tem como generalizar, porque vai ser só para esse mouse, só para esse fio. Se eu chegar com outro mouse, com outro fio, eu vou ter outras variáveis, e daí? Daí, o que nós vamos fazer? [...] Nós vamos ter que pegar um fio que não tenha massa, que não estique. Então, a gente chama este fio de ideal. [...]</i></p>
EF2	<p>Aluno 5: <i>Esse para mim é ponto mais difícil. Porque eu nunca tinha feito isso. Tinha pensado, mas nunca tinha feito. Então, é difícil a gente trabalhar com idealizações porque nunca se trabalhou com isso. Eu pelo menos nunca trabalhei. Por isso que chamou a atenção. Construir um modelo é difícil.</i></p> <p>Entrev.: Poderias dar um exemplo de outro modelo e as suas idealizações?</p> <p>Aluno 5: <i>Eu acho que a parte de resistência, a parte de eletricidade, tu mostrar o que é uma resistência para eles é difícil. Eles não conseguem entender esse conceito de resistência. Eu trabalho muito em laboratório, mesmo mostrando no laboratório, colocando uma lâmpada, botando uma pilha com fios, é difícil. Eles não conseguem perceber isso aí. De fazer a relação com a corrente, com a tensão e dali sai a resistência. Mostrar que realmente a resistência aquece. [...] E mostrar que nesse circuitinho, se a gente fosse medir, não vai dar o que deveria dar no modelo. Questiona isso com eles. Porque não está dando aquilo ali? Realmente quando tu calculas, que tu vê quanto é a resistência da lâmpada ou, então, vê a potência dela. Porque não está dando? E se eu aumentar a tensão? O que vai acontecer? Tem uma hora que ela não vai ser mais uma resistência ideal. Então, qual seria o limite? Se ela começar a esquentar muito, por efeito Joule, ela não obedece mais a lei. [...]</i></p> <p>Entrev.: Voltando para o caso do mouse. Que idealizações tu farias para tratá-lo?</p> <p>Aluno 5: <i>Primeiro o vácuo, a questão do vácuo. O fio não tem massa e é inextensível. E que tem que ser para oscilações não muito grandes que eu vou trabalhar. E depois, vamos pensar: mudando massas, muda alguma coisa?</i></p>
EF3	<p>Esta questão não foi feita para o Aluno 5, explicitamente.</p>
EF4	<p>Aluno 5: <i>A questão do vácuo. É que para mim é muito difícil ainda pensar nessa questão dos referentes. Por que para mim remete a uma referência. Ao que eu tenho que deixar fixo. Não, não fixo, mas que eu tenho que enfatizar para que aquilo possa acontecer. Isso que eu penso no tal do referente. Na minha idealização, tem coisas que são imutáveis. Que eu tenho que chegar e dizer: a partir disso é que vai acontecer o fenômeno. Se eu tirar isso, a coisa não vai acontecer. Esse que é o meu problema do referente. Não sei se é isso, mas a idéia que me vem para essa palavra é isso. É difícil digerir esse referente.</i></p> <p>Entrev.: Quais seriam os referentes na situação do movimento do mouse?</p>

Questões	Fragmentos de respostas
	Aluno 5: <i>A massa e a Terra. E a força que eu imprimi no objeto. A força seria o agente que vai movimentar.</i>
EF5	Aluno 5: <i>No caso do mouse, o período vai depender do comprimento e da gravidade do local. Então, o comprimento do fio vai ser um parâmetro. E a gravidade vai depender do lugar que eu esteja. Vai ser um parâmetro. O parâmetro é aquele valor que é independente, ele não vai mudar. E a variável vai depender do que eu modificar.</i>
EF6	Aluno 5: <i>Até quando ele vai dar uma boa resposta. No caso do mouse, ele vai dar uma boa resposta para pequenas amplitudes. Se eu aumentar a amplitude, eu vou bagunçar o sistema todo. Aí vou ter que ter outro modelo. [...] Quando que o modelo vai me servir? O modelo vai me servir quando eu usar aquele modelo para n situações. Se eu usar só para duas situações aquele modelo não vai me servir. Para usar em uma única situação, resultado particular, ele não vai me servir. Agora, para mil situações, o modelo vai ser muito pesado. Eu não vou ter como calcular isso aí, né? [...]</i>
EF7	Aluno 5: <i>Eu torno o meu modelo mais preciso sabendo escolher as variáveis e os parâmetros possíveis naquela situação-problema. Aí é que é o mais difícil. Tu tentar ver quem é parâmetro, é analisar o fenômeno para poder construir um modelo. Essa que é a grande dificuldade. Para mim pelo menos é muito grande. [...] A gente está acostumado às coisas prontas. Então fica difícil. Por isso que eu gostei. Eu tive que mexer mais no outro lado do cérebro.</i>
EF8	Aluno 5: <i>A expansão é arrumar o modelo. Mexer nele para que eu possa aumentar as possibilidades de uso daquele modelo.</i>
EF9	Aluno 5: <i>Para mim é criar um modelo que eu possa usar em diversas situações.</i> Entrev.: <i>Tu saberias me dar um exemplo de generalização de um modelo?</i> Aluno 5: <i>O modelo do mouse poderia ser usado para descrever um relógio de pêndulo, um balanço, né?</i>
EF10	Entrev.: <i>O que tu entendes por modelo conceitual? O que tu entendes por modelo teórico?</i> Aluno 5: <i>Primeiro que não são a mesma coisa. O modelo teórico seria a parte da formulação do problema através dos parâmetros, que eu vou criar aquele modelo teórico. E o modelo conceitual [Silêncio], esse aí é difícil porque a gente sempre fica naquela história do conceito e da teoria, quase que a mesma coisa e não é. Então, para mim, eu tenho uma dificuldade. Eu acho que o legal do curso foi que me abriu os olhos, que eu tenho muita dificuldade, e que eu tenho que estudar mais.</i>

Passemos agora a comentários interpretativos da entrevista realizada com o Aluno 5. Tais comentários refletem também, e não secundariamente, a interação com o Aluno 5 ao longo dos encontros virtuais síncronos. O objetivo aqui, é buscar evidências de possíveis avanços no domínio conceitual associado ao campo da modelagem de fenômenos físicos, por parte do Aluno 5.

A partir da nossa interação com o Aluno 5 pudemos perceber o seu interesse em participar dos encontros síncronos no MBMS. Somente na última aula virtual é que não esteve presente. O mesmo aconteceu com as tarefas propostas: as duas últimas não foram realizadas. Desde o início do curso, percebemos a dificuldade deste aluno em trabalhar com a modelagem de situações reais, em outros termos, tratá-las de forma simplificada no contexto da Física. Segundo o Aluno 5, esta dificuldade se deve ao fato de jamais ter explorado os

fenômenos físicos, buscando um entendimento conceitual dos mesmos. Nesse sentido, sem dúvida, acreditamos que avanços foram feitos pelo Aluno 5 no campo conceitual da modelagem científica. No que se refere às idealizações, embora tenha apresentado dificuldades em identificá-las para a maioria das situações que foram trabalhadas, o Aluno 5 enfatiza na entrevista um aspecto importante: a necessidade de discutir com os seus estudantes os motivos pelos quais os resultados experimentais não condizem exatamente com os resultados previstos pelos modelos científicos. Seguindo nesta linha de raciocínio, o Aluno 5 parece entender que o grau de precisão (adequação) de um modelo está intimamente relacionado com a escolha correta das variáveis e dos parâmetros relevantes para a descrição da situação, ou seja, de que a adequação de um modelo aos fatos depende, entre outros aspectos, da quantidade de informações disponíveis sobre a realidade. Ainda quanto aos conceitos envolvidos na análise da razoabilidade de modelos científicos, associa o domínio de validade com a quantidade de situações para as quais o modelo fornece respostas adequadas. Nesse sentido, entende um modelo só tem utilidade caso possa representar uma grande quantidade de situações. Por último, embora tenha exemplificado corretamente as idéias de expansão e generalização de modelos científicos, em momento algum foi capaz de discuti-las no seu projeto final.

Aluno 6:

Atualmente com 52 anos de idade, o Aluno 6 concluiu o curso de Ciências Físicas e Biológicas, com habilitação em Matemática, no ano de 1988. Possui experiência didática de 10 anos na rede estadual. Atualmente é professor de Matemática para o ensino fundamental e de Física para o ensino médio. Também possui experiência didática nas disciplinas de Ciências para o ensino fundamental e de Biologia para o ensino médio.

A seguir, são apresentadas algumas de suas concepções sobre modelos e teorias científicas, e sobre a natureza da Ciência em geral, intercaladas a comentários interpretativos, a partir da análise de suas respostas ao QI. A Tabela 18 mostra as respostas do Aluno 6 às questões que compunham o QI.

Tabela 18 – Respostas do Aluno 6 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.

Questões	Respostas do Aluno 6
Q11	<i>Como o próprio nome diz, modelo vem de “molde”. Moldar alguma coisa: é criar algo que tenha um significado, que obedecendo alguns parâmetros venha a ter uma aplicabilidade; que sirva como exemplo, e que possa ser contextualizado. Então, uma “conta de luz residencial” do Sr. Fulano de tal, é um modelo científico criado pela companhia de energia elétrica para demonstrar o consumo de energia elétrica, através de medições como bem sabemos, com a finalidade pela cobrança do serviço prestado ao consumidor.</i>
Q12	<i>Teoria pode ser um pensamento, uma idéia sobre algo que possa vir a acontecer. Por exemplo, amanhã poderá chover, em virtude da alta umidade do ar.</i>
Q13	<i>Para tratarmos das verdades, penso que primeiro necessitamos de um referencial, pois a verdade depende de vários pontos de vistas, e diferenças culturais, etc. Do ponto de vista científico, torna-se difícil e complicado estabelecer verdades, uma vez que a vida é dinâmica, tudo está em movimento e muda a todo instante.</i>
Q14	<i>De ser a busca pelo bem estar do homem.</i>
Q15	<i>O conhecimento científico, penso que não possa ser empírico, isto é, deve ter bases “sólidas” efetuadas através de muita experimentação, para que tenha validade.</i>

A concepção de modelo científico do Aluno 6 parece estar associada à idéia de um objeto que serve de exemplo ou norma para um fim específico e que pode ser reproduzido por imitação. Como exemplo, cita o molde impresso utilizado pela empresa de energia elétrica para informar aos seus clientes os gastos referentes ao consumo de energia elétrica. Quanto às teorias científicas considera que são idéias sobre acontecimentos. No exemplo que cita, parece confundir hipóteses sobre fatos com teorias. Quanto aos objetivos da Ciência, considera que o maior deles é a busca pelo bem-estar do homem. Por fim, entende que a validação do conhecimento científico não depende somente da experimentação. Contudo, parece reconhecê-la como um critério de demarcação.

Durante o curso, a participação do Aluno 6 pode ser resumida, em termos quantitativos, da seguinte forma: esteve presente aos 2 encontros presenciais e participou dos 6 encontros virtuais no MBMS. Na plataforma TelEduc, participou dos 6 fóruns de discussão, realizou 9 tarefas e elaborou o projeto final. A seguir, serão detalhadas as atividades desenvolvidas pelo Aluno 6 de modo assíncrono, mescladas a comentários interpretativos, durante as oito semanas do curso.

Na primeira semana do curso, ao participar do FD-1, o Aluno 6 não entende a discussão que foi proposta sobre grandezas físicas e, assim, considera que a concepção do autor sobre as mesmas é demasiada simples porque não as classifica em escalares e vetoriais.

Ainda na primeira semana do curso, ao participar do FD-2, o Aluno 6 discorda da citação e justifica sua resposta ao escrever:

Não concordo, pois trata-se de uma concepção empirista-indutivista, onde a experiência é a única fonte de validação do conhecimento. Penso ser uma posição “descartiana” [...] (ALUNO 6).

Na Tarefa 1, o Aluno 6 concorda com a concepção do autor em relação aos modelos científicos e comenta sobre a importância dos mesmos no ensino de Física. Em suas palavras:

Realmente o papel dos modelos no ensino da Física, é de extrema importância para podermos estabelecer um “link” entre os conhecimentos científicos e a realidade, de forma contextualizada para nossos alunos (ALUNO 6).

Ainda na Tarefa 1, o Aluno 1 demonstra indícios da sua concepção sobre Ciência, quando escreve:

Penso que minha concepção, tem sido essa; pois não imagino “Ciências”, como alguma coisa vinda do sobrenatural, ou da fé. Portanto sempre fui um tanto cético, tendo sempre procurado provar através de códigos matemáticos os fenômenos naturais (ALUNO 6).

Na Tarefa 2, o Aluno 6 propõe como tentativa de resposta às questões-foco por ele formuladas, justamente, o fenômeno de interesse envolvido na elaboração das mesmas. A Tabela 19 mostra as respostas do Aluno 6 às situações apresentadas em Física.

Tabela 19 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 6.

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial.	<i>O valor da energia total é o mesmo em todas as seções da tubulação?</i>	<i>Modelo de Conservação de Energia</i>
Condução de calor através de uma barra metálica.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>As partículas aumentam a vibração ou se deslocam?</i> • <i>Porque o cabo das painéis é de madeira ou de plástico?</i> 	<i>Modelo de condutor térmico</i>
Um automóvel fazendo uma curva.	<i>Se os pneus não derrapam, como será o atrito, embora o carro se movimente?</i>	<i>Modelo para desgaste de pneus</i>
Um circuito elétrico constituído de uma bateria e lâmpadas associadas em paralelo.	<i>Num circuito temos 3 lâmpadas ligadas em paralelo. Qual o tempo de duração dessa bateria?</i>	<i>Modelo de consumo para três lâmpadas em paralelo</i>

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Uma xícara de chá quente em temperatura ambiente.	<i>Onde se encontra a maior movimentação molecular?</i>	<i>Modelo de agitação térmica</i>

Na segunda semana do curso, ao participar do FD-3, o Aluno 6 propõe uma situação-problema dentro do Eletromagnetismo, envolvendo o campo elétrico produzido entre duas placas paralelas eletrizadas com cargas de sinal contrário. Em suas palavras:

Entre as placas A e B da figura estabelece-se um campo elétrico uniforme de intensidade $E = 100 \text{ V/m}$. Sendo de 8 cm a distância entre as placas, determine a d.d.p. entre elas. Idealizações: A e B são placas paralelas (armaduras num condensador) de mesma área, carregadas de sinais contrários e mesmo valor absoluto Q. Q1 e Q2 são cargas puntiformes. Os vetores paralelos: representação das linhas de força. U é um gerador. Sentido da corrente. Campo elétrico uniforme (ALUNO 6).

Ainda na segunda semana do curso, ao participar do FD-4, o Aluno 6 limita-se a identificar os modelos que são apresentados no capítulo introdutório de um livro de texto de Física em nível médio. Seu comentário está disponível na Tabela D.4 do Apêndice D.

Na Tarefa 3, as respostas do Aluno 6 evidenciam a falta de clareza quanto ao enfoque proposto no enunciado do problema. Nesse sentido, entende que o fato de se considerar a carreta como um objeto pontual implica em desprezar a força de atrito dos pneus com o asfalto e as forças aerodinâmicas que atuam sobre a carreta.

Na Tarefa 4, as respostas do Aluno 6 limitam-se ao cálculo do tempo decorrido entre o golpe do jogador e o toque da bola no chão. Perguntado sobre as idealizações que estavam sendo feitas pelo problema, escreve:

Penso que considerando a bola como uma partícula pontual, desprezamos suas dimensões e as conseqüências desse tratamento [...] (ALUNO 6).

Na Tarefa 5, o Aluno 6 formula questões-foco interessantes sobre o fenômeno da colisão, porém, pouco relacionadas a um possível uso da simulação computacional. Em suas palavras:

Numa colisão frontal e elástica entre duas partículas de massas iguais, ocorre uma permuta de velocidades, isto é, a velocidade final de uma delas é igual a velocidade inicial da outra e vice-versa. Porque ocorre essa permuta de velocidades?

Podem ocorrer situações em que podemos aplicar a conservação da quantidade de movimento mesmo que a resultante das forças externas não seja nula (ALUNO 6)?

Quanto às idealizações subjacentes à simulação computacional, o Aluno 5 entende que foram desprezados os efeitos de atrito, as forças internas, a energia cinética e a produção de calor. Quanto aos referentes, entende que os vagões, a superfície lisa, as rodas dos vagões, a aerodinâmica dos vagões e a colisão entre eles devem ser considerados como tais. Por fim, perguntado sobre que relações, variáveis e parâmetros estariam envolvidos na solução proposta, escreve:

Para ocorrer uma colisão elástica, devemos ter alguns parâmetros, isto é, deve haver algumas regras como: na ausência de forças externas, a quantidade de movimento de um sistema permanece constante; as quantidades de movimento de um sistema, imediatamente antes e depois de qualquer colisão, podem ser consideradas iguais. As variáveis são: a massa e a velocidade. E através da igualdade escalar, podemos provar que a quantidade de movimento, antes e depois da colisão, são iguais (ALUNO 6).

Na Tarefa 6, o Aluno 6 formula apenas uma questão-foco trivial sobre a simulação computacional. Em suas palavras:

Qual a relação existente entre a altura da imagem e seu sinal (ALUNO 6)?

No que se refere às idealizações subjacentes à simulação computacional, o Aluno 6 começa explicitando suas idéias de forma confusa, quando escreve:

Pensamos como sendo o eixo principal uma reta perpendicular a lente, que é representada por outro segmento de reta orientado. Os raios de luz, são (fonte de luz puntiforme) representados por linhas, que nos dá direção e sentido do percurso da luz. Nesta idealização desprezamos o meio de propagação da luz; o calor; uma parte da luz que volta para o meio; a natureza da luz e sua cor (ALUNO 6).

Quanto aos referentes, o Aluno 6 considera que o objeto linear, a lente (ou espelho) e o meio de propagação da luz devem ser entendidos como tais. Por fim, ao responder sobre as relações, variáveis e parâmetros, escreve:

Os parâmetros são os elementos geométricos de um espelho (ou lente), ou seja, o foco, o centro de curvatura, o vértice e o eixo principal. A distância focal f , a distância objeto-espelho (ou lente) p , a distância imagem-espelho (ou lente) q , são variáveis do sistema, que através da relação fundamental, (equação dos focos conjugados), nos permite determinar a posição da imagem de um objeto puntiforme (ALUNO 6).

Na Tarefa 8, o Aluno 6 contextualiza o fenômeno da conservação de energia através da seguinte situação-problema:

Considere um caminhão de 30 toneladas deslocando-se na horizontal a uma velocidade de 72 km/h, quando tem os freios acionados até parar. Suponha que toda energia cinética seja transformada em calor em seus 6 conjuntos de freios que possuem uma massa de 8 kg cada um e um calor específico de 1500 J/kg.K, sem que haja fusão de seus componentes. Calcule o aumento de temperatura em cada um dos seis conjuntos de freios (ALUNO 6).

A fim de calcular o aumento de temperatura no conjunto de freios, considera as seguintes idealizações:

Desprezamos as forças dissipativas, a força resultante retardadora, o movimento retilíneo e o peso (ALUNO 6).

Além disso, considera o caminhão, as rodas, o solo e os freios como referentes. A velocidade e a temperatura são consideradas como variáveis. Já a aceleração da gravidade, o calor específico e as massas são considerados como parâmetros.

Na quinta semana do curso, ao participar do FD-5, o Aluno 6 identifica, de forma correta, todos os aspectos conceituais envolvidos na simulação computacional apresentada, como se pode observar na Tabela D.5 do Apêndice D.

A Tarefa 9 não foi realizada pelo Aluno 6.

Na Tarefa 10, o Aluno 6 responde a todos os questionamentos de forma correta, o que parece evidenciar a exploração de todas as representações envolvidas nas duas simulações computacionais que faziam parte desta tarefa.

No Projeto Final, o Aluno 6 se propõe a discutir a situação em que um objeto é abandonado do alto de um plano inclinado. Entretanto formula questões-foco triviais sobre esta situação ao escrever:

Qual a relação existente entre a componente da força peso e o ângulo da rampa? Qual a intensidade da força normal? Qual a aceleração do objeto (ALUNO 6)?

Em seguida, ao idealizar o movimento de descida do objeto, despreza as forças dissipativas e a aceleração da gravidade. E a pergunta que fica, é: faz sentido desprezar a aceleração da gravidade nesta situação, como forma de abordá-la simplificadamente? O solo, a rampa, o objeto e as forças envolvidas no movimento são considerados como referentes. A aceleração do objeto e o ângulo de inclinação são considerados como variáveis. Já a aceleração da gravidade g e a velocidade v do objeto são consideradas como parâmetros. Por fim, ao propor uma discussão sobre a razoabilidade da solução encontrada, o Aluno 6 escreve:

As fontes de erro de nosso modelo passam pelo fato de não considerarmos a resistência do ar, as dissipações, a aceleração da gravidade; [...] (ALUNO 6).

A seguir, são apresentados trechos da Entrevista Final realizada com o Aluno 6, contendo fragmentos de respostas em português coloquial, na ocasião do segundo encontro presencial.

A entrevista inicia com um breve relato da visão geral do Aluno 6 sobre o curso a distância. Em suas palavras:

Esses dois meses foram dois meses que eu acho que, de certa maneira, foi a primeira vez que eu vim a começar a pensar Física. [...] Eu já comecei a ver as coisas de outra forma, de outra maneira. A própria questão dos modelos, a gente de uma maneira aleatória diz que serve como um exemplo. Um modelo serve como um exemplo em sala de aula. [...] Nunca se inferiu nada em relação ao desenho, se tratou o modelo apresentado em alguns livros de uma forma figurativa. [...] Nunca se fez essa inferência dentro do modelo [...] oh pessoal, nós não estamos trabalhando com a resistência do ar, nós estamos desprezando a aceleração da gravidade [...] (ALUNO 6).

Com objetivo de condensar as informações relevantes fornecidas pelo Aluno 6, os fragmentos de respostas são mostrados na Tabela 20.

Tabela 20 – Fragmentos de respostas do Aluno 6.

Questões	Fragmentos de respostas
EF1	Aluno 6: <i>Sim, sim, sim. [...]</i>
EF2	Entrev.: Que idealizações tu farias para tratar da seguinte situação: o movimento de oscilação desse <i>mouse</i> [o entrevistador faz o <i>mouse</i> do computador a sua frente oscilar num plano vertical]? Aluno 6: <i>Bem se eu for tratar o mouse como uma partícula, aí vem todas essas questões. O fio, inextensível. O próprio mouse como uma partícula. Desprezar a resistência do ar. Tentar passar porque ele mantém aquele movimento por um determinado tempo. Qual vai ser a ação da gravidade depois de determinado tempo da oscilação do pêndulo. Bom, a</i>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p><i>questão da resistência do ar. A questão do ângulo, né? [...]</i></p> <p>Entrev.: Digamos que tu queiras discutir a seguinte situação: uma criança descendo um escorregador. Que modelo conceitual tu poderias construir para tentar descrever esta situação?</p> <p>Aluno 6: <i>Plano inclinado? Plano inclinado! Ou conservação de energia.</i></p> <p>Entrev.: E como ficaria a questão das idealizações?</p> <p>Aluno 6: <i>Inferir aquela questão da força normal, da força peso. A questão das componentes. Enfim, aquela coisa que a gente trabalha ali, né? Eu acho que a estrutura está aí. Tão aí nesses parâmetros: força normal, força peso, componentes das forças ali. Acho que é isso. Para ti transmitir lá para o cara, essa idéia aí, da criança descendo o escorregador, primeiro é fazer a escolha se tu vai trabalhar com o plano inclinado. E aí dentro disso é que vem o conceito das forças que estão agindo sobre a criança.</i></p> <p>Entrev.: Tu consideras que a força normal, a força peso, etc sejam idealizações do teu modelo?</p> <p>Aluno 6: <i>Não, porque não dá para se considerar todas por causa da questão da gravidade, que não vai se adequar ao modelo. Da força da gravidade, da força peso, vai ter que desprezar, né?</i></p> <p>Entrev.: Nesta situação, tu desprezarias o peso da criança?</p> <p>Aluno 6: <i>Nessa situação, sim.</i></p> <p>Entrev.: Porque a criança desce no escorregador?</p> <p>Aluno 6: <i>Em função do ângulo de inclinação. Se for na horizontal, não vai andar. E aí vem aquela história: a partir do instante que tu for aumentando o ângulo de inclinação, ela vai começar se movimentar.</i></p> <p>Entrev.: Porquê?</p> <p>Aluno 6: <i>Bom, tá. Aí sim, né? Bom aí tem a questão da massa. Sim. Claro, claro. Realmente, aí tem a questão do peso que vai agir sobre a velocidade da criança descendo, né?</i></p>
EF3	Esta questão não foi feita ao Aluno 6, explicitamente.
EF4	<p>Aluno 6: <i>A questão dos referentes é o de mais simples entendimento. Bom, aí o cara tem que dar uma pensadinha na questão do referente porque também tem a questão, aquela questão abstrata do referente. As ações das forças, dos agentes que acabam influenciando. A tendência no início é não tratar como referente aquilo, né? Daí depois a gente percebe. E uma coisa, assim interessante, é que existe todo um conjunto em que tu vai te apercebendo de umas coisas e vai ficando um ponto de interrogação lá no fundo, e aquele outro lá? Depois, tu vais meio que fechando uma linha de raciocínio.</i></p> <p>Entrev.: Quais seriam os referentes, na situação da criança descendo o escorregador?</p> <p>Aluno 6: <i>O solo, a rampa e a criança. Seriam esses, né? Mas, ah, sim, pois é. Aí entra aquilo que a gente estava falando anteriormente. Que além dessa coisa visível, assim, da rampa, da criança e do solo. Tem o referente que é no caso a ação da gravidade, né? Que aí, já é aquela situação que tu tem que idealizar a situação da gravidade porque ela está acontecendo. E isso aí, no início, a gente não percebia, né? Aí, quando falava em referente, tá, não, referente é o chão, é o cara e isso e aquilo, né? Mas aí se passou a perceber que também entra como referente essas forças que estão agindo no sistema e que a gente não está vendo.</i></p>

Questões	Fragmentos de respostas
EF5	Aluno 6: <i>Lendo o texto um dia é que eu me dei conta da questão do parâmetro. O cara sabe, né? Claro. Parâmetro é um negócio que guarda certos limites. Daí depois lendo ali e tal, se percebe que ele trata somente das constantes, mais nada do que isso. Depois que eu me dei conta, puxa, mas é um negócio, assim, meio óbvio. Tu tens as variáveis lá e tu tens que ter as constantes. O que não é variável é constante. Como o cara trabalha com a Matemática, então o cara fala muito em variáveis. Lá dentro da Álgebra é variável para cá, variável para lá. Então o cara não se dá conta das tais das constantes.</i>
EF6	Aluno 6: <i>Domínio de validade eu encontrei uma certa dificuldade em exemplificar, assim, sabe, de botar no papel. A interpretação que eu fiz é essa. Eu penso que domínio de validade, ele tem uma ação dentro daquele escopo, dentro daquele momento, dentro daquela visão, dentro daquelas características ali. E a questão aquela de que quanto menos tu idealizas, fica mais claro para o cara, lógico, é uma coisa óbvia, né? Mas aí vem aquele outro lado, os erros podem ser maiores, né? Ou então se tu começa idealizar demais, o grau de exatidão perde. Mas nessa questão do domínio de validade, eu penso que eu tenha entendido, só que a minha dificuldade foi realmente em exteriorizar através de um exemplo, uma coisa mais visível.</i>
EF7	Esta questão não foi feita ao Aluno 6.
EF8	Esta questão não foi feita ao Aluno 6.
EF9	Esta questão não foi feita ao Aluno 6.
EF10	Aluno 6: <i>O modelo é científico se ele obedecer essas, e essas, e essas regras, ou se ele passar por essa experimentação, por essa avaliação. Vamos ter que ver quais são os seus limites. Quais são as suas variáveis? Quer dizer, ter uma idéia estruturada do que seja um modelo. Antes, minha idéia de modelo era uma coisa aleatória. Agora, parece que tem uma estrutura, que tem alguma coisa a seguir.</i>

Passemos agora a comentários interpretativos da entrevista realizada com o Aluno 6. Tais comentários refletem também, e não secundariamente, a interação com o Aluno 6 ao longo dos encontros virtuais síncronos. O objetivo aqui, é buscar evidências de possíveis avanços no domínio conceitual associado ao campo da modelagem de fenômenos físicos, por parte do Aluno 6.

Desde o início do curso, o Aluno 6 demonstrou estar disposto a dedicar o tempo que fosse necessário para a realização das tarefas e para participar dos fóruns de discussão. Além disso, esteve presente aos 6 encontros síncronos no MBMS. Nesse sentido, acreditamos que o empenho demonstrado pelo Aluno 6 está associado ao fato de que, como ele mesmo sugere no início da entrevista, foi a primeira vez que veio a refletir sobre Física. Cabe ressaltar que, embora esteja lecionando a disciplina de Física há dois anos na rede pública, no interior do estado, sua formação inicial é em Ciências e Matemática. Conseqüentemente, desde o primeiro encontro presencial, este aluno demonstrou muitas deficiências quanto aos conteúdos específicos de Física. Entretanto, suas inquietações filosóficas, aparentemente, motivaram-no a superar as dificuldades enfrentadas ao longo das oito semanas do curso. Quanto às idealizações, suas dificuldades permaneceram ao longo de todo o curso, embora demonstre na

entrevista um aspecto importante: a relação entre os erros introduzidos pelas idealizações e o grau de precisão dos modelos científicos. Quanto aos referentes, às variáveis e aos parâmetros, o entendimento do Aluno 6 foi aumentando à medida que prosseguia no curso, embora dificuldades tenham permanecido. O mesmo pode ser tido em relação aos demais conceitos envolvidos na modelagem de fenômenos físicos. Contudo, acreditamos que sua noção de modelo científico tenha se alterado de modo significativo, quando comparamos suas respostas no início e no final do curso.

Aluno 7:

Atualmente com 27 anos de idade, o Aluno 7 concluiu o curso de Licenciatura em Física em uma universidade federal. Não possui experiência didática, pois ao final da sua formação inicial viajou para o exterior com a finalidade de estudar a Língua Inglesa. Por estar ausente no primeiro encontro presencial não respondeu o QI.

Durante o curso, a participação do Aluno 7 pode ser resumida, em termos quantitativos, da seguinte forma: esteve presente ao segundo encontro presencial e participou de 5 encontros virtuais no MBMS. Na plataforma TelEduc, participou de 1 fórum de discussão, realizou 9 tarefas e não elaborou o projeto final. A seguir, serão detalhadas as atividades desenvolvidas pelo Aluno 7, mescladas a comentários interpretativos, ao longo das oito semanas do curso.

Na Tarefa 1, o Aluno 7 compara a noção de modelo científico do autor do texto com a leitura que fez do segundo texto de apoio. Em suas palavras:

Parece que para o autor modelo é uma representação mental do objeto observado e estudado, mas que ainda não foi observado. Outra idéia passada pelo autor é a de que modelo pode vir a ser, também, uma “simplificação de determinada situação ou problema, desconsiderando os aspectos não relevantes ou desprezíveis.” Segundo o texto *Fenômenos Físicos e Modelos Científicos*, “um modelo conceitual precisa estar encaixado numa teoria capaz de tratá-lo adequadamente... constituindo-se em uma teoria específica (ou modelo teórico) capaz de fazer previsões e ser confrontada com os fatos.” Já o autor só menciona modelo como uma representação mental ou uma simplificação do objeto de estudo (ALUNO 7).

Ainda na Tarefa 1, ao comentar a importância dos modelos científicos no ensino de Física, o Aluno 7 escreve:

Poderia servir como uma ferramenta na ajuda para entendimento da teoria geral, a qual é o objetivo principal de ensino para o professor (ALUNO 7).

Na Tarefa 2, o Aluno 7 propõe como tentativa de resposta às questões-foco por ele formuladas, teorias gerais. A Tabela 21 mostra as respostas do Aluno 7 às situações apresentadas em Física.

Tabela 21 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 7.

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Como se comporta a pressão da água no interior da tubulação?</i> • <i>Existe turbulência?</i> 	<i>Mecânica dos fluidos.</i>
Condução de calor através de uma barra metálica.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Todos os metais conduzem calor da mesma forma?</i> • <i>Como a temperatura varia ao longo de uma barra metálica conduzindo calor?</i> 	<i>Termodinâmica.</i>
Um automóvel fazendo uma curva.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Por que parece que sentimos uma força direcionada para fora da curva quando estamos dentro do carro?</i> • <i>O que provoca a curva do carro?</i> • <i>Por que em corridas automobilísticas é que existe uma inclinação para dentro de certas curvas?</i> 	<i>Mecânica Clássica.</i>
Um circuito elétrico constituído de uma bateria e lâmpadas associadas em paralelo.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Por que a lâmpada acende?</i> • <i>Por que é necessário estar com esta configuração?</i> • <i>O que tem a pilha de especial?</i> • <i>O que há de especial no fio metálico?</i> 	<i>Eletricidade. Eletroquímica.</i>
Uma xícara de chá quente em temperatura ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Por que o chá esfria depois de um tempo?</i> • <i>Por que sai vapor do chá?</i> • <i>Por que a xícara esquenta?</i> 	<i>Termodinâmica.</i>

Na Tarefa 3, o Aluno 7 entende que a simplificação de se considerar a carreta como um objeto pontual justifica-se somente no caso em que ela atravessa a ponte de maior extensão. Além disso, afirma que:

Considerando a carreta como um ponto, desconsidera-se a distância percorrida equivalente ao seu tamanho (20m) (ALUNO 7).

Na Tarefa 4, o Aluno 7 parece ter entendido o motivo pelo qual a situação apresentada no enunciado do problema pode ser considerada uma boa aproximação à situação real de jogo, quando escreve:

Bom, em uma análise superficial, acredito que como a bola está a uma velocidade muito grande em relação à distância que a bola percorre, a trajetória que é um arco de parábola se aproxima suficientemente de uma reta. Tentei resolver o problema não fazendo as considerações acima e não consegui (ALUNO 7).

Entretanto, quando perguntado sobre que idealizações estavam sendo feitas na situação ilustrada pela figura, escreve:

Não entendi muito bem esta pergunta. Mas se estiver referindo-se ao desenho, o autor não se preocupou com os detalhes da situação como escala e trajetória real da bola (ALUNO 7).

Na Tarefa 5, o Aluno 7 formula questões-foco triviais sobre a simulação computacional. Em suas palavras:

Qual a principal diferença quando dois vagões de trem colidem sem se juntar, com o auxílio de uma mola, e quando colidem e se juntam através de uma conexão? Como se comportam a quantidade de movimento do sistema, a velocidade do centro de massa e a energia cinética do sistema (ALUNO 7)?

Quanto às idealizações subjacentes à simulação computacional, o Aluno 7 entende que as forças externas foram desconsideradas e que o movimento é unidimensional. Quanto aos referentes, o Aluno 7 considera os carrinhos, a mesa e o centro de massa como tais. Quanto às variáveis e parâmetros, não manifesta idéia alguma.

Na Tarefa 6⁹, o Aluno 7 formula três questões-foco sobre o fenômeno da formação de imagens em espelhos e lentes esféricos para serem respondidas com o auxílio da simulação computacional proposta. Em suas palavras:

Como se relacionam as distâncias entre o objeto e o espelho (ou lente), entre a imagem e o espelho ou lente (ou lente) e a distância focal do espelho (ou lente)? Qual das lentes funcionaria como uma boa lupa? E qual dos espelhos funcionaria como um bom retrovisor de carro (ALUNO 7)?

Quanto às idealizações, o Aluno 7 entende que a simulação computacional considera a luz como sendo constituída por raios luminosos e que tanto o objeto quanto a sua imagem aparecem somente acima ou abaixo do eixo óptico do espelho (ou da lente). Quanto aos referentes, entende que os espelhos e as lentes, assim como o objeto, a sua imagem e os raios de luz devem ser considerados como tais. Por fim, ao considerar as condições de estigmatismo de Gauss e algumas relações entre triângulos semelhantes, responde as questões-foco que formula.

Na Tarefa 8, o Aluno 7 contextualiza o fenômeno de conservação de energia ao propor uma situação dentro da Mecânica, envolvendo questões sobre dinâmica rotacional. Em suas palavras:

Ao deixar um ioiô cair rolando pelo cordão podemos perguntar a nós mesmos: o que o faz girar mais rápido? Do que depende o valor da aceleração da queda do ioiô? Como se relacionam a força de tensão no fio e o peso do ioiô? Ele transforma a energia potencial gravitacional que tinha mais em energia cinética de translação ou de rotação? Do que depende o tempo de queda (ALUNO 7)?

Para responder estas perguntas, o Aluno 7 considera um ioiô ideal: sem forças dissipativas, com um fio de massa desprezível e que fica reto na vertical. Além disso, o fio não vibra e toda a massa m do ioiô está concentrada na periferia, o que acaba por lhe conferir um momento de inércia igual ao de um cilindro anular. Quanto aos referentes, considera o ioiô, o fio, o dedo e a Terra como tais. A massa m do ioiô, a aceleração da gravidade g , o comprimento do fio L , os raios R_1 e R_2 do anel onde se concentra a sua massa e o raio de enrolamento r do ioiô são

⁹ Ao postar a Tarefa 6 no TelEduc, o Aluno 7 envia a seguinte mensagem, que reflete o seu sentimento naquele momento do curso: “Estes trabalhos me fizeram ver que preciso estudar bastante para recuperar o tempo perdido. Um ano sem Física me fez um estrago. Estes simples probleminhas me deram um trabalhão, e ainda assim ficaram ruins, desculpe-me. Estou até meio deprimido. Mas vou recuperar. Obrigado.”

considerados como parâmetros. O tempo t , a posição y , a velocidade de translação v , a velocidade de rotação ω , a energia cinética de translação K_T , a energia cinética de rotação K_R e a energia potencial gravitacional U como variáveis.

Na quinta semana do curso, ao participar do FD-5, o Aluno 7 identifica de forma correta todos os aspectos conceituais envolvidos na simulação computacional a ser trabalhada, como se pode observar na Tabela D.5 do Apêndice D.

Na Tarefa 9, o Aluno 7 entende que a função que melhor se ajusta aos dados obtidos no experimento em que uma esfera de aço, abandonada do repouso, cai no ar, tendo em vista os seus conhecimentos em Física é a função 2. Ao justificar sua resposta, escreve:

Da parte da Física que trata do problema da queda de corpos considerados pontuais e desconsiderando a presença de forças dissipativas, podemos usar a relação: $H = H_0 + V_0 t + t^2 g/2$, para a altura H e o tempo t de um corpo que cai sob a exclusiva ação do campo gravitacional (considerado constante). Nesta equação H_0 e V_0 são, respectivamente, a altura inicial e a velocidade inicial do corpo e g é a aceleração imposta ao corpo pelo campo gravitacional, que tem um valor teórico aproximado de 1000 cm/s^2 . De acordo com os dados da tabela o referencial usado para medir a altura do corpo foi escolhido de forma que a altura inicial do corpo fosse zero e no decorrer do movimento de queda esta altura fosse aumentando. Ou seja, escolheu-se um referencial com a origem coincidindo com a posição inicial do corpo, direcionado na vertical e com sentido para baixo. Com essa configuração do referencial e com o fato de a bolinha ter sido largada, a velocidade inicial V_0 da bolinha é nula, assim como sua altura inicial H_0 , e considerando o valor teórico aproximado para g a relação prevista pela teoria para H e t é: $H = 500t^2$, fazendo-se uma comparação com a equação 2, pode-se ver que se trata da mesma equação, fornecendo um valor idêntico ao valor teórico aproximado para g (ALUNO 7).

A Tarefa 10 e o Projeto Final não foram realizados pelo Aluno 7.

A seguir, são apresentados trechos da Entrevista Final realizada com o Aluno 7, contendo fragmentos de respostas em português coloquial, na ocasião do segundo encontro presencial.

A entrevista inicia com um breve relato da visão geral do Aluno 7 sobre o curso a distância. Em suas palavras:

[...] Outra coisa que eu percebi é que tinha um horário para começar e não teve para terminar [as aulas]. Isso foi fantástico. Uma aula que era para ser de uma hora, ia duas, uma hora e meia, para mais até. E a maioria ficava ali. Um ou dois tinham que sair. Isso foi uma coisa legal. A discussão pode se estender bastante. [...]
(ALUNO 7).

Com objetivo de condensar as informações relevantes fornecidas pelo Aluno 7, os fragmentos de respostas são mostrados na Tabela 22.

Tabela 22 – Fragmentos de respostas do Aluno 7.

Questões	Fragmentos de respostas
EF1	<p>Aluno 7: <i>Eu acho que sim. Na verdade, eu acho que para o professor seria uma espécie de desafio. A comodidade de ter um modelo pronto dos livros, aquela questão de ter uma aula pronta. Assim, mostrar para o aluno como é que foi feito ao invés de dar tudo pronto. Mostrar como é feito isso [a modelagem de situações reais] é uma coisa interessante, uma coisa muito legal e talvez seja mais proveitosa para o aluno, para ele compreender melhor. Além de explorar um número maior de alunos na sala de aula, porque tu estás dando uma visão diferente da Física. A Física não é só uma coisa pronta, que o aluno tem que saber aquilo, as regras e aplicar. Se conseguir fazer uma aula envolvendo esses passos de modelagem de mostrar que a Física é uma tentativa de explicação de uma situação-problema, de uma parte da realidade. [...] Não só no ensino médio né, acredito que essa metodologia seria muito proveitosa no ensino superior também. Por que daí tu formaria professores já com a idéia bem formada sobre modelagem. Se o curso de Física, por exemplo, a licenciatura tivesse uma característica principal transmitir esse tipo de conhecimento para os professores ficaria mais fácil eles criarem aulas com essa característica, mostrando para o aluno como se faz um modelo científico, não só em Física mas em qualquer disciplina [...]</i></p>
EF2	<p>Aluno 7: <i>Pelo que eu entendi, as idealizações estão ligadas com o modelo conceitual, quando tu começa trazer os dados que tu estás observando, as variáveis que tu estás observando para dentro do teu modelo, começa organizar isso.</i></p> <p>Entrev.: Digamos que tu queiras discutir duas situações com os teus alunos. A primeira, uma criança descendo num escorregador e, a segunda, o movimento desse mouse [o entrevistador fez o mouse do computador a sua frente oscilar num plano vertical]. Com tu começarias discutindo estas situações? Que idealizações tu farias para tratá-las de forma simplificada?</p> <p>Aluno 7: <i>No caso de um pêndulo, se tu for levar em consideração o pêndulo como um todo, tu tem um fato que complica, que seria o momento de inércia do fio, do corpo como um todo, porque o pêndulo é um corpo extenso. Bom, talvez uma primeira idealização seria tu desconsiderar o fio, tu considerar só a massa que está oscilando lá na ponta, como sendo uma massa pontual, e o fio como sendo algo que só liga essa massa a um ponto de giro, né? Esse fio não teria massa, teria a massa desconsiderada, porque seria um fio muito fino e não influenciaria muito no movimento. Então, isso seria uma idealização. E a massa como sendo pelo formato dela, talvez uma massa esférica, alguma coisa assim do tipo, considerando toda massa concentrada num ponto. Isso seria uma outra idealização. Ah! Entra a questão do atrito com o ar, também. Se tu levar em consideração o atrito com ar, tu tens um outro modelo, que seria o modelo dum pêndulo amortecido, senão tu só tens o movimento harmônico simples. E também alguma resistência no contato do fio com [o ponto] onde ele está oscilando. [Silêncio] Uma outra coisa que eu pensei que era idealização, que discutindo contigo nas aulas, foi o fato do ângulo ser pequeno. Bom, para mim foi uma coisa que fez diferença, né? Essa diferenciação entre a aproximação e a idealização. Isso foi uma diferença que fez no curso, né? É quase a mesma coisa, mas não é. Tem um aspecto bem diferente. Um está no fato de tu estar trazendo os dados para dentro do teu modelo. E o outro está no fato de tu estar trabalhando com esses dados dentro do modelo para poder usar uma matemática mais simples ou mais, simplificando: seriam simplificações dentro do modelo. E o outro seria no trazer os dados. Bom, na questão do escorregador, primeira coisa se, [Silêncio] bom, depende do foco, né?</i></p> <p>Entrev.: Propõe um foco.</p> <p>Aluno 7: <i>Bom, conservação de energia poderia ser. Talvez um dos mais aplicados, né?</i></p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p><i>Podia também ser força de atrito, né? Atrito cinético, estático, essas coisas. Bom, mas se levar em consideração a conservação de energia, pode-se num primeiro momento ter como idealização o não atrito, a falta de atrito, de forças dissipativas. O atrito com ar, o atrito da criança com o escorregador. [...] E se caso tu quisesse levar em consideração o atrito na conservação de energia, uma idealização seria a forma como esse atrito atua na dissipação de energia, se é o quadrado da velocidade, a dependência da perda de energia por atrito com o movimento, com a velocidade da criança e questões desse tipo. Acho que é isso.</i></p>
EF3	<p>Esta pergunta não foi feita ao aluno, visto que ele já havia se pronunciado sobre este conceito na pergunta anterior, espontaneamente.</p>
EF4	<p>Aluno 7: <i>Bom, referentes? Essa parte foi uma parte que eu achei bem legal, enfim, todas, elas [...] discriminar cada conceito na modelagem. A questão dos referentes é interessante porque tu analisa os personagens do evento, que seriam as grandezas em si e as variáveis.</i></p> <p>Entrev.: <i>Quais seriam os referentes no caso da criança descendo o escorregador?</i></p> <p>Aluno 7: <i>Primeiro a criança e o escorregador. Mas um especial, e talvez o agente principal, seria a Terra. Porque a criança e o escorregador, sem a Terra não desce [Risos]. Teria a criança com sua massa: a massa seria um referente também. A Terra com sua massa, também, para ter a atração da gravidade, o escorregador com suas propriedades de ser liso, então, sem atrito. Como consequência, tu terias a velocidade como um referente. Variável: aceleração, força. Bom, se tu tiver um foco, a energia cinética e potencial, a conservação de energia, os diferentes tipos energia seriam referentes também. Bom, enfim são as variáveis, pelo que eu entendi de referentes são todas as grandezas que estão envolvidas e os corpos também, né? Tanto a parte real quanto a parte conceitual da análise do evento.</i></p>
EF5	<p>Aluno 7: <i>Ah é, tem os parâmetros, né? Bom, até falei alguns parâmetros, né? Falei massa da criança.</i></p> <p>Entrev.: <i>A massa seria um parâmetro ou um referente?</i></p> <p>Aluno 7: <i>Bom, pelo que eu entendi, não sei se eu estou certo, o referente ele se difere de um parâmetro? Um referente não pode ser um parâmetro? Não, parâmetro é parâmetro e referente é referente, né?</i></p> <p>Entrev.: <i>O que é uma variável e um parâmetro de um modelo?</i></p> <p>Aluno 7: <i>Pois é, tem essa diferença. Variável são as grandezas que estão variando no evento, como a velocidade no caso da criança. A aceleração seria constante, seria um parâmetro. Então, eu tenho a variação, a aceleração dependeria da massa e da inclinação que são parâmetros que tu pré-determina numa rampa, num escorregador, com um certo ângulo. Tu defines anteriormente. E a criança com uma certa massa. E a Terra também. É na Terra ou é na Lua ou, enfim, então tu determinas a força peso, portanto tu determinas anteriormente a aceleração. Então, isso seriam parâmetros. E as variáveis, como a energia cinética, a energia potencial que se modificam durante o evento, essas sim, seriam variáveis.</i></p> <p>Entrev.: <i>E no caso do movimento do mouse? Quais seriam os referentes, as variáveis e os parâmetros?</i></p> <p>Aluno 7: <i>No caso do mouse, os referentes seriam a Terra, aí é que está, ficou uma dúvida. Agora, ficou a seguinte dúvida: um referente pode ser um parâmetro? Os parâmetros estão dentro dos referentes ou são só as variáveis? Pelo que eu me lembro, os referentes são [Silêncio], são as variáveis reais, não. São os entes reais, ou não. No que eu entendi, parâmetro poderia ser um referente também, assim como variável. Agora, eu estou com essa dúvida. Então, no caso os referentes são todos os parâmetros e variáveis que tu tens no evento. Nesse caso do mouse, seria a Terra, de novo, um corpo maior que tem atração gravitacional, a massa, o próprio pêndulo com seu fio, alguma coisa para amarrar o fio,</i></p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p><i>um aparato que tu tens [...] esses seriam os referentes. Bom, então os referentes seriam a massa, o pêndulo, sua massa. As variáveis: a velocidade angular, velocidade linear, ângulo, a posição angular, a força peso já falei. Bom, acredito que seria isso. Ah, energia cinética, potencial são referentes. Entre esses referentes tu terias as variáveis e os parâmetros, né? De novo, os que variam, seriam as variáveis, que são relevantes no movimento. E o que tu pré-determina seriam os parâmetros, como o comprimento do fio [...]</i></p>
EF6	<p>Aluno 7: <i>Ah, isso foi uma coisa que foi legal. O domínio de validade estaria relacionado com a questão da teoria, né? Até onde ele consegue explicar um determinado evento, até onde tu podes mudar os teus parâmetros para poder explicar aquele movimento. Bom, se tu muda os teus parâmetros, tu pode sair fora do domínio de validade do modelo. No exemplo que tu deu dá Mecânica Clássica e a Teoria da Relatividade. A Mecânica Clássica está dentro de um intervalo máximo para valores de velocidade, né? Então, no momento em que alguma variável ou um parâmetro atinge valores que o modelo não responde mais, aí tu está saindo fora do domínio de validade desse modelo. O domínio de validade seria até onde o modelo consegue explicar. Quando tu trás os dados, quando tu faz o modelo conceitual, que tu trás os dados do evento, tu restringe esse evento para certos limites de variações tanto nos parâmetros quanto nas variáveis. E aí bom, essa restrição acredito que esteja ligada com o domínio de validade.</i></p> <p>Entrev.: <i>No caso da criança descendo o escorregador, qual seria o domínio de validade do teu modelo? Em outros termos, para que situações o teu modelo começaria a apresentar falhas?</i></p> <p>Aluno 7: <i>Bom, talvez no caso de um escorregador gigante [Risos], que passe de uma certa altura, onde os teus parâmetros passam a ser variáveis. O campo gravitacional não seria mais constante, a força peso não seria mais constante. A força peso que antes era considerada como um parâmetro, agora passa a ser considerada como variável. Então, teria um limite para o tamanho do escorregador.</i></p>
EF7	<p>Aluno 7: <i>O grau de precisão estaria relacionado com as tuas idealizações, né? Quanto mais idealizações tu fizer, menos precisão tu vai ter. Então, se tu abordar menos características do evento, menos informações tu vais ter no teu modelo e menos condizente com a realidade ele seria, né? No caso do pêndulo, se tu desconsiderar o atrito, o pêndulo real, uma hora pára. Teu pêndulo sem atrito, no teu modelo, nunca vai parar. Vai ficar oscilando indefinidamente. Então, se puxa para o teu modelo teórico, questões do atrito com o ar, tu tens uma concordância maior com a tua previsão [...]</i></p>
EF8	<p>Aluno 7: <i>Expansão seria o caso do escorregador gigante. Quando tu melhora o teu modelo teórico para aumentar o domínio de validade, tu estás expandindo o teu modelo. A expansão estaria ligada com a expansão do domínio de validade, né? Isso seria expansão de um modelo. Tu melhora ele para poder abranger mais situações do que abrangia anteriormente.</i></p>
EF9	<p>Aluno 7: <i>Generalização é tu usar o mesmo modelo, na verdade, as mesmas relações entre as variáveis que tu fez para um modelo, tu usar essas relações para um “evento semelhante” que nas suas relações entre variáveis uma semelhança com o modelo que tu fez anteriormente. Tu transportas essa parte matemática toda do teu modelo e conceitual para fazer uma generalização. Era o que eu estava tentando fazer entre a cinemática e a dinâmica no movimento translacional para o movimento rotacional.</i></p>
EF10	<p>Aluno 7: <i>Um modelo científico é a tentativa de explicação de um fato da natureza, um fato que foi observado ou um fato que tu queiras explicar para aplicar em algum lugar ou sem aplicação nenhuma, simplesmente pelo fato de querer conhecer como funciona. E para poder explicar isso, teria que se entender como funciona, já que a natureza é muito complexa, tem várias características, várias variáveis. O modelo, ele tenta selecionar algumas dessas variáveis, talvez as mais importantes, que influenciam mais no evento que tu estás estudando. Bom, tu tenta relacionar elas, trazer para dentro de uma teoria que já é pré-concebida, tu tenta trazer os dados, as relações e botar dentro de uma teoria que já é conhecida. Isso é interessante porque se tem idéia do contrário: que tu pega os dados e cria uma teoria ou modelo científico. [...] Tu não olha para o evento sem uma idéia pré-concebida. Isso, de certo modo, é verdade. Para poder entender um certo evento físico, ou na natureza, tu terias que ter uma teoria anterior, para poder encaixar e fazer um modelo</i></p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<i>científico. Bom, eu acredito que seja isso: uma tentativa de explicação, levando em conta o conhecimento que tu já tem anteriormente ao modelo científico.</i>

Passemos agora a comentários interpretativos da entrevista realizada com o Aluno 7. Tais comentários refletem também, e não secundariamente, a interação com o Aluno 7 ao longo dos encontros virtuais síncronos. O objetivo aqui, é buscar evidências de possíveis avanços no domínio conceitual associado ao campo da modelagem de fenômenos físicos, por parte do Aluno 7.

Desde o início do curso pudemos perceber o interesse do Aluno 7 em participar dos encontros síncronos no MBMS e em realizar as tarefas propostas de modo assíncrono. O mesmo não pode ser dito em relação aos fóruns de discussão. Segundo ele, a sua participação nos fóruns foi prejudicada pelo fato de não ter conseguido acompanhar as discussões de modo assíncrono, causando-lhe a sensação de abandono por parte dos demais. Além disso, não participou da última aula virtual e não realizou a Tarefa 10 nem elaborou o Projeto Final. Em relação à entrevista, suas respostas evidenciam a diferenciação que faz entre as idealizações e as aproximações, quando comenta que as primeiras estão relacionadas à construção do modelo conceitual. Já as aproximações estão relacionadas com as simplificações de natureza matemática que são feitas dentro do modelo. Ainda sobre as idealizações, o Aluno 7 entende que as mesmas desempenham um papel fundamental na escolha dos referentes, na determinação do grau de precisão, no domínio de validade e no processo de expansão dos modelos. Quanto aos referentes, às variáveis e aos parâmetros, embora tenha permanecido alguma confusão entre os três, o Aluno 7 foi capaz de identificá-los corretamente na maioria das situações-problema ao longo do curso. Quanto aos aspectos conceituais envolvendo a análise da razoabilidade dos resultados obtidos pelos modelos, o Aluno 7 expõe de forma clara suas idéias sobre domínio de validade e grau de precisão, inclusive na forma de exemplos. Por tudo isso, acreditamos que ao estabelecer relações entre os diversos conceitos envolvidos na modelagem de fenômenos físicos, o Aluno 7 demonstra avanços significativos no domínio deste campo conceitual. Por último, ao explicitar sua noção de modelo científico, procura relacioná-la com sua visão geral sobre a Ciência.

Aluno 8:

Aos 40 anos de idade, o Aluno 8 é licenciado em Ciências, com habilitação em Física, e pós-graduado em Educação Ambiental pela mesma universidade federal. Possui experiência didática no ensino médio de 10 anos. Atualmente é professor de Física em duas escolas: uma na rede municipal e a outra técnica federal, totalizando uma carga horária semanal de 42 horas-aula.

A seguir, são apresentadas algumas de suas concepções sobre modelos e teorias científicas, e sobre a natureza da Ciência em geral, intercaladas a comentários interpretativos, a partir da análise de suas respostas ao QI. A Tabela 23 mostra as respostas do Aluno 8 às questões que compunham o QI.

Tabela 23 – Respostas do Aluno 8 às questões de 1 a 5 do Questionário Inicial.

Questões	Respostas do Aluno 8
Q11	<i>Modelo científico é um conjunto de fatores (entidades) e as relações entre elas, que permitam o estudo sobre determinado assunto. Esse conjunto deve ter coerência interna e basear-se em pressupostos legitimados em teoria e experimentação (exceto para modelos puramente teóricos). Ex.: modelos atômicos.</i>
Q12	<i>Teoria científica é algo maior que o modelo, uma vez que pode conter modelos diferentes para explicar aspectos diferentes do seu objeto. É um conjunto de idéias que visa dar conta de um aspecto da realidade, da natureza ou da interação natureza-tecnologia-sociedade. Ela deve permitir a extrapolação e generalização de conclusões e a delimitação de suas fronteiras ou intervalo de validade.</i>
Q13	<i>Verdade é uma categoria provisória, circunstancial, circunscrita no tempo e no espaço.</i>
Q14	<i>É desenvolver conhecimentos que permitam a elaboração de teorias e modelos que esclareçam e/ou elucidem, do modo mais simples possível a realidade, tendo em vista os usos possíveis dessas teorias e modelos e ainda considerando as aplicações práticas. Há pensadores, hoje que dizem que a Ciência tornou-se “tecnociência” tal a importância da tecnologia na atualidade.</i>
Q15	<i>São as suas possibilidades de: explicação coerente dos fenômenos, bem como de verificação da sua plausibilidade, validade, organização de dados e relação destes entre si, através da adoção de uma dada lógica.</i>

A concepção de modelo científico do Aluno 8 parece estar relacionada a um conjunto de idéias baseadas em pressupostos teóricos corroborados empiricamente. Como exemplos de modelos científicos, cita os modelos atômicos. Já as teorias científicas são entendidas como conjuntos de idéias com o propósito de explicar aspectos da realidade dentro de um intervalo de validade. Além disso, considera que uma teoria científica pode abarcar diferentes modelos e, por isto, deve ser entendida como algo maior que um modelo científico. A verdade no contexto da Ciência tem um caráter provisório, limitada no tempo e no espaço. Por fim, entende que a Ciência tem como objetivo produzir teorias e modelos que forneçam

explicações da realidade, sem perder de vista suas aplicações práticas. O caráter explicativo e a possibilidade de verificação do conhecimento científico são os critérios que usa para distinguir este tipo de conhecimento de outras formas.

Durante o curso, a participação do Aluno 8 pode ser resumida, em termos quantitativos, da seguinte forma: esteve presente aos 2 encontros presenciais e participou de 5 encontros virtuais no MBMS. Na plataforma TelEduc, participou de 4 fóruns de discussão, realizou 9 tarefas e elaborou o projeto final. A seguir, serão detalhadas as atividades desenvolvidas pelo Aluno 8, mescladas a comentários interpretativos, durante as oito semanas do curso.

Na primeira semana do curso, ao participar do FD-2, o Aluno 8 comenta sobre a importância da teorização, além da observação e da experimentação, na produção do conhecimento científico. Em suas palavras:

Sabemos que nem sempre a ordem estabelecida pelo "método científico" tem sido seguida no desenvolvimento da Ciência. Uma ordem interessante, ditada pelo bom senso, é começar pelo mais simples e mover-se na direção da maior complexidade, na busca de formulações, soluções e explicações simples e elegantes. Eu incluo a teorização, além da observação e experimentação, porque é através dela que o conhecimento é socializado com os pares, que podem contribuir com novas perspectivas, bem como é assim, ao teorizar, que o pesquisador pode confrontar-se com suas próprias conclusões e com as limitações destas (ALUNO 8).

Na Tarefa 1, o Aluno 8 parece concordar com a idéia de que os modelos são úteis porque fornecem explicações de aspectos da realidade que não podem ser observados diretamente. Nesse sentido, entende que é preciso dar ênfase às simplificações que os modelos fazem da realidade. Estas simplificações parecem estar associadas à noção de analogia. Em suas palavras,

Modelos são essenciais para a construção da compreensão da realidade, mas deve-se ter o cuidado de enfatizar que há simplificações. De outro modo os alunos constroem o conhecimento, desconsiderando as simplificações, o que sem dúvida não é proveitoso. Exemplos disso estão em duas situações relatadas por professores, em trabalhos de pesquisa, como por ex. um estudante perguntado sobre o spin, responde: eles ficam na caixinha, um deles aponta para cima e o outro para baixo (ALUNO 8)!

Na Tarefa 2, o Aluno 8 formula diversas questões para as situações apresentadas em Física, algumas mais gerais do que outras. Quanto aos modelos científicos, parece demonstrar

a idéia de que não faz sentido utilizar modelos (analogias) quando se tem acesso direto ao fenômeno de interesse. A Tabela 24 mostra, à exceção da primeira linha, as analogias que o Aluno 8 procurou estabelecer entre as situações.

Tabela 24 – Questões-foco e modelos científicos propostos pelo Aluno 8.

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Qual é o regime predominante de escoamento: estacionário ou turbulento?</i> • <i>Por que o escoamento, em certas situações provoca um forte barulho “de motor”?</i> • <i>Onde é maior a pressão da água?</i> • <i>Qual é a relação entre pressão e velocidade da água?</i> 	<i>Equação de Bernoulli (Uma equação pode ser/funcionar com um modelo?)</i>
Condução de calor através de uma barra metálica.	<i>Qual a diferença fundamental entre essa situação e o aquecimento do planeta pelo sol? Essa questão remete naturalmente a extrapolações (bem vindas) do assunto como efeito estufa, etc.</i>	<i>A própria situação já que é acessível aos sentidos.</i>
Um automóvel fazendo uma curva.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>O carro tem aceleração nesse momento?</i> • <i>Qual o limite de velocidade para fazer a curva com segurança?</i> • <i>Que fatores (variáveis) devem ser considerados para responder as questões anteriores?</i> • <i>Qual a trajetória provável do carro se ele não conseguir “vencer” a curva?</i> 	<i>Movimento de um pequeno objeto sobre um prato de toca-discos. Espero que não haja alguém tão jovem que não saiba o que é isso!</i>

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Um circuito elétrico constituído de uma bateria e lâmpadas associadas em paralelo.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>O quê (que ente físico) * circula no circuito?</i> • <i>O quê (que ente físico)* se gasta? Essa variável some?</i> • <i>O quê (que ente físico)* se conserva?</i> • <i>De onde vem a luz e o calor dissipado nas lâmpadas?</i> <p><i>*Os alunos tendem, em principio, a nomear todas as variáveis envolvidas como: eletricidade. Assim: circula eletricidade, consome-se eletricidade, etc...</i></p>	<i>Mangueira com ramificações por onde escoar água. Sabe-se que esse modelo produz vários mal-entendidos, mas é este que me vem à mente nesse momento.</i>
Uma xícara de chá quente à temperatura ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>O que acontecerá com a xícara momentos depois? Ou qual a tendência desse sistema? É aberto ou fechado?</i> • <i>Sistemas fechados existem de fato?</i> • <i>Qual a relação entre calor e temperatura?</i> • <i>Essas duas variáveis estarão sempre presentes durante a observação do fenômeno?</i> 	<i>A própria situação, já que é acessível aos sentidos.</i>

Na segunda semana do curso, ao participar do FD-3, o Aluno 8 propõe uma situação-problema dentro da Hidrostática, envolvendo a variação da pressão atmosférica. Em suas palavras:

Situação problema: variação da pressão atmosférica com a altitude, e suas conseqüências. Questão-foco: Calcule a diferença de pressão entre uma cidade A ao nível do mar para outra cidade B situada na altitude 2000m. Que alterações você perceberia, ao deslocar-se da cidade A para a cidade B? Como os atletas enfrentam os efeitos da altitude? Em que cidade é mais difícil cozinhar? Por quê? Idealizações: a aceleração da gravidade e a densidade do ar não variam com a altitude (ALUNO 8).

Na Tarefa 3, o Aluno 8 considera que tratar a carreta como um objeto pontual é perfeitamente cabível na situação em que a extensão da ponte é muito maior do que as dimensões da carreta. Quanto às implicações físicas desta simplificação, escreve:

Só consigo pensar em duas implicações: o movimento de rotação das rodas não é igual ao dos outros pontos da carreta, e a implicação mais séria é que desconsiderando a massa da carreta perde-se a noção de quantidade de movimento, que quantifica ou dá a idéia concreta do efeito da grande massa da carreta em movimento (ALUNO 8).

Na Tarefa 4, as respostas do Aluno 8 evidenciam a falta de clareza sobre o motivo pelo qual o autor considera a situação descrita no enunciado como uma boa aproximação da situação real de jogo e as idealizações que foram feitas para tratá-la de forma simplificada. Em resposta ao item b, escreve:

Desprezou-se o possível movimento de rotação da bola, já que o MRU descreve movimento de translação e também os efeitos do ar (vento), que, acredito serem praticamente desprezíveis em quadra fechada (ALUNO 8).

A Tarefa 5 não foi realizada pelo Aluno 8.

Na Tarefa 6, o Aluno 8 propõe que a simulação computacional seja usada como uma ferramenta para auxiliar na discussão da seguinte situação-problema:

A córnea e o cristalino do olho humano formam uma lente que está a aproximadamente 2 cm de distância da retina, onde se forma a imagem. Num olho saudável, essa lente pode variar sua distância focal, acomodando-se às várias distâncias dos objetos ao olho, de modo a formar uma imagem nítida. Essa lente deve convergente ou divergente? Por quê? Com base nessas informações, calcule a distância focal da lente humana na visualização de um objeto que está a 20m (ALUNO 8).

Quanto às idealizações subjacentes à simulação computacional, entende que:

O objeto é unidimensional e está colocado perpendicularmente ao eixo do espelho ou lente; a luz que incide no objeto é branca, uma vez que a cor da luz influi no índice de refração da lente; na verdade incidem no objeto e refratam ou refletem infinitos raios e não apenas os raios ditos principais; o espelho e a lente são gaussianos, i. é., os raios considerados estão próximos do vértice e com pequena inclinação em relação ao eixo (ALUNO 8).

Além disso, entende que os referentes envolvidos na situação considerada são: a lente (cristalino + córnea), o objeto e a retina. A distância focal e a distância do objeto ao olho são entendidas como variáveis.

Na Tarefa 8, o Aluno 8 aplica o princípio da conservação de energia mecânica à situação em que um caminhão em movimento colide com um carro inicialmente em repouso. Em suas palavras:

Como o princípio da conservação da energia total pode ser usado para ajudar a determinar as circunstâncias de uma colisão entre veículos? Qual era a velocidade v do caminhão antes de colidir com um automóvel parado, sabendo que as massas de ambos são m e M e que o caminhão arrastou o carro por 50 m na mesma direção do movimento e que o coeficiente de atrito entre a estrada e os pneus é de 0,8? Baseado na alegação do caminhoneiro de que a sua velocidade era, na verdade, menos de 72 km/h, quanto de energia foi dissipada na forma de calor, som e deformação dos veículos? Este resultado está de acordo com a distância percorrida pelo carro? Explique (ALUNO 8).

Em seguida, propõe o seguinte modelo para tratar a situação-problema de forma simplificada:

Modelo: brinquedos colidindo numa canaleta reta sobre superfície áspera como uma lixa de granulometria baixa, provida de escala. Para a colisão ser inelástica os brinquedos são revestidos de velcro. Idealizações: o movimento após a colisão manteve a mesma direção do movimento do caminhão; as deformações do carro e do caminhão foram desprezadas; o calor dissipado nas estruturas do caminhão e do carro foi desprezado; despreza-se o coeficiente de atrito estático entre o chão e o carro; as massas dos veículos não variam durante todo o evento, ou seja, nada é agregado aos veículos nem nenhuma de suas partes são perdidas (ALUNO 8).

Suas respostas parecem evidenciar dois aspectos distintos. O primeiro está relacionado ao fato de que o Aluno 8, aparentemente, está compreendendo o papel das idealizações na construção de uma representação esquemática do sistema a ser estudado, na medida em que propõe simplificações adequadas à situação proposta. O segundo, parece evidenciar a necessidade do Aluno 8 de estabelecer analogias com situações familiares, como já foi observado em outras oportunidades.

Na quinta semana do curso, ao participar do FD-5, o Aluno 8 identifica corretamente todos os aspectos conceituais envolvidos na simulação computacional a ser trabalhada, como se pode observar na Tabela D.5 do Apêndice D.

Na Tarefa 9, o Aluno 8 entende que a escolha de um físico só poderia ser pela função 2 ou pela função 4. Em suas palavras:

As funções 2 ou 4, sendo que esta última com expoente fracionário traz uma complicação extra para cálculos onde a precisão não seja um requisito

fundamental. O mesmo, mas com mais trabalho matemático vale para as funções 5 e 6. O parâmetro de ajuste é a aceleração da gravidade medida em cm/s^2 (ALUNO 8).

A Tarefa 10, segundo o Aluno 8, foi a que mais o motivou a rememorar conceitos para executá-la. Em suas palavras:

Gostei muito dessa tarefa [...] tive que rememorar vários conceitos para executá-la. Enfim, rememorei meus conhecimentos. No entanto as minhas respostas às últimas questões estão um pouco vagas porque cheguei no meu limite (ALUNO 8).

No Projeto Final, o Aluno 8 se propõe a discutir a situação de um carro que faz uma curva, do ponto de vista da Dinâmica, e formula as seguintes questões-foco:

O carro tem aceleração nesse momento? Calcule o módulo máximo da velocidade que um carro pode desenvolver ao fazer uma curva de raio 50 m, considerando o atrito entre os pneus e a estrada como sendo 0,8. Qual a trajetória provável do carro se ele não conseguir “vencer” a curva (ALUNO 8)?

Em seguida, procura descrever o comportamento dinâmico do carro com base nas leis de movimento de Newton. Para tanto, entende que precisa tratar a situação de forma idealizada e faz algumas aproximações numéricas. Além disso, considera que os referentes envolvidos na situação são os pneus, o asfalto e o raio da curva, o que evidencia a confusão entre parâmetro e referente. A velocidade v é considerada como uma grandeza que varia. Segundo o Aluno 8, os parâmetros envolvidos são: o coeficiente de atrito μ , o raio da curva r , a massa m e a aceleração da gravidade g . Por fim, discute a razoabilidade da solução proposta, seu domínio de validade e grau de precisão. Nesse sentido, entende que a adequação do modelo que utiliza depende das idealizações e das aproximações que são feitas. Por último, considera como uma possível generalização do modelo que adota para descrever o comportamento do carro na curva, a sua utilização para descrever a órbita de satélites, onde a força gravitacional faria o papel da força de atrito.

A seguir, são apresentados trechos da Entrevista Final realizada com o Aluno 8, contendo fragmentos de respostas em português coloquial, na ocasião do segundo encontro presencial.

A entrevista inicia com um breve relato da visão geral do Aluno 8 sobre o curso a distância. Em suas palavras:

Aprendi muito com o curso, me senti desafiada pelo curso, não gostei de umas tarefas, gostei de outras bastante, principalmente da 10, gostei das simulações, gostei das aulas nas sessões síncronas, de conversar com o pessoal, de trocar idéias, enfim, para mim foi bastante válido (ALUNO 8).

Com objetivo de condensar as informações relevantes fornecidas pelo Aluno 8, os fragmentos de respostas são mostrados na Tabela 25.

Tabela 25 – Fragmentos de respostas do Aluno 8.

Questões	Fragmentos de respostas
EF1	<p>Aluno 8: <i>Fazia muito tempo que eu não fazia um curso de aperfeiçoamento específico em Física. Eu sou pós-graduada, mas em Educação Ambiental, então, isso que eu vou te dizer pode ser que seja uma particularidade minha: esse curso vai servir para mim, para eu me instrumentalizar. Agora, em que medida eu vou conseguir de imediato ou a médio prazo transpor isso para a sala de aula, eu tenho as minhas dúvidas. Mas isso não tira, na minha opinião, o mérito do curso. Foi o meu primeiro. Eu aprendi um monte de coisas, mas eu não tenho essa facilidade de enxergar como é que isso vai mudar a minha prática amanhã. [...]</i></p> <p>Entrev.: De alguma forma este curso mudou tua visão sobre Ciência e/ou sobre a modelagem e os modelos científicos?</p> <p>Aluno 8: <i>Sobre Ciência eu já fazia uma discussão sobre o papel da Ciência, sobre os modelos, genericamente falando, sim, eu já fazia essa discussão no meu mestrado. Mas, em termos de conceitos específicos fez bastante diferença. Até hoje, eu tenho dificuldades com os referentes, por exemplo. As idealizações eu acho que eu consegui aprender direitinho. A diferença das idealizações para as aproximações, que eu tinha dúvida, também. Mas eu sempre fico, assim, quando eu tenho que determinar os referentes. Mas eu sei que é simples, né? Sabe aquela coisa que tu não aprendeu bem lá atrás e que isso vai te levando a ficar inseguro, é o meu problema com os referentes. Mas eu sei que é simples e sei que se eu me detiver, eu vou conseguir identificar os referentes do modelo. Idealizações, referentes, aproximações e? A outra coisa?</i></p> <p>Entrev.: Tem a questão das variáveis, dos parâmetros, etc.</p> <p>Aluno 8: <i>Ah, os parâmetros. Eu confundo os parâmetros com os referentes, às vezes. Mas é aquilo né, o aprendizado não se faz de imediato [...]</i></p>
EF2	<p>Entrev.: Digamos que tu queiras discutir com os teus alunos a seguinte situação: o movimento de oscilação desse <i>mouse</i> [o entrevistador fez o <i>mouse</i> do computador a sua frente oscilar num plano vertical]. Como tu abordarias esta situação e que idealizações tu farias?</p> <p>Aluno 8: <i>A gente despreza o volume do mouse e faz ele ser uma massa pontual. A gente diz que o fiozinho é inextensível. A gente considera pequenas oscilações.</i></p> <p>Entrev.: Considerar pequenas oscilações. Isso é uma idealização?</p> <p>Aluno 8: <i>Acho que é mais uma aproximação.</i></p> <p>Entrev.: Mais alguma coisa?</p> <p>Aluno 8: <i>A gente só faz essa experiência aqui, neste lugar, não vai para outro lugar, para outro planeta. Não sei. Faltou alguma coisa importante a ser dita?</i></p> <p>Entrev.: Uma outra situação: uma criança descendo num escorregador. Como tu abordarias esta situação e que idealizações tu farias?</p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p>Aluno 8: Não tem atrito entre a criança e o escorregador, a criança não muda o seu centro de massa, ou seja, ela não se move exageradamente para nenhum lado. Ela senta e escorrega.</p>
EF3	<p>Aluno 8: Esta pergunta não foi feita ao Aluno 8.</p>
EF4	<p>Aluno 8: São os entes que eu tenho que focalizar mais agudamente a visão.</p> <p>Entrev.: Quais seriam os referentes no caso da criança que desce de um escorregador?</p> <p>Aluno 8: A massa da criança, não, o peso da criança, não. A altura do escorregador. Ah, não sei, viu. Eu acho que o peso da criança também [Silêncio].</p> <p>Entrev.: Mais alguma coisa?</p> <p>Aluno 8: Se eu vou definir o peso como referente, eu devo definir a Terra também, não é? Eu acho que é. O peso, a Terra, o bloco ou nenhum deles e a altura do escorregador.</p> <p>Entrev.: E no caso do mouse? Quais seriam os referentes do teu modelo?</p> <p>Aluno 8: O comprimento do fio, o peso do mouse e a Terra.</p>
EF5	<p>Aluno 8: Parâmetro é fixo e variável varia.</p> <p>Entrev.: Digamos que tu queiras construir um modelo cinemático para descrever o movimento da criança ao longo do escorregador? O que seria variável e o que seria parâmetro do teu modelo?</p> <p>Aluno 8: O tempo varia, já que tu estás falando em Cinemática. A posição da criança, obviamente, do começo ao fim do movimento. A velocidade, entre o começo e o fim do movimento, também. Então, essas são as variáveis: posição, velocidade e o tempo. Parâmetro: a massa da criança. A altura do escorregador pode ser variável ou parâmetro.</p> <p>Entrev.: E na situação do movimento do mouse? O que seria variável e o que seria parâmetro do teu modelo?</p> <p>Aluno 8: Parâmetro: comprimento do fio. Variável: a posição do mouse durante o tempo de observação do fenômeno. A massa do mouse é parâmetro. A aceleração da gravidade é parâmetro. E é isso.</p>
EF6	<p>Aluno 8: É algo circunscrito pelas idealizações, pelas aproximações. Ou seja, se eu idealizar que eu estou trabalhando com pequenas oscilações, eu não posso dizer que esse modelo vai prever o movimento do mouse para grandes oscilações. Isso é óbvio, né? É uma obviedade. É que sempre me ocorre o óbvio: Física clássica serve para velocidades normais e distância grandes, não tão grandes quanto às estelares, mesocosmos, nem microcosmos nem macrocosmos. Para o macrocosmos serve a mecânica relativística e para o micro, a mecânica quântica. Eu sei que esse exemplo é óbvio, mas quando a gente pensa em limites de idealizações vem isso, né?</p>
EF7	<p>Aluno 8: Precisão significa mais perto da realidade? Ou tu estás querendo dizer coerência interna do modelo?</p> <p>Entrev.: As duas coisas.</p> <p>Aluno 8: Porque a coerência interna do modelo não tem a ver com a concordância dele com a realidade, certo?</p> <p>Entrev.: Em princípio, não.</p> <p>Aluno 8: Então, vamos falar primeiro da concordância do modelo com a realidade. Quanto maiores as abstrações que se faz, menos preciso fica o modelo, né? Vamos pensar</p>

Questões	Fragmentos de respostas
	<p><i>nas situações [o movimento do mouse e a criança descendo no escorregador]. No caso do mouse, eu poderia considerar a força restauradora. No caso da criança, era só eu ter o coeficiente de atrito da pista, do escorregador, digamos assim, e aí calcular a componente do peso correta. Aí, eu ia ganhar mais precisão, quantitativa, eu acho. Mas qualitativa, não vejo.</i></p> <p>Entrev.: Com o que se relaciona o grau de precisão de um modelo?</p> <p>Aluno 8: <i>Com as quantidades, ou não? Pois, é. Agora, me ocorreu essa dúvida. Se essa concordância: ela tem que ser absolutamente quantitativa ou se existe, pode ser que eu esteja postulando uma coisa nova, agora, se existe uma concordância qualitativa? Não sei.</i></p> <p>Entrev.: O que tu entendes por concordância qualitativa?</p> <p>Aluno 8: <i>Pois, é. É difícil de explicar. Concordância quantitativa, é óbvio. Se os dados experimentais coincidem com os dados obtidos através da simulação com o modelo, seja simulação computacional ou não, beleza. Mas, concordância qualitativa? Olha, não sei. De repente não existe concordância qualitativa. De repente a concordância é só quantitativa, mesmo [Silêncio]. E a outra coisa que tu querias saber? A gente falou de concordância do modelo com a realidade. Ah, a coerência interna do modelo, né? Pois, é. O modelo não pode sair inventando conceitos ou, então, passando por cima de conceitos já estabelecidos. O modelo não pode dizer, de repente, que a aceleração da gravidade não influi no movimento do pêndulo, do mouse. Então, não tem como.</i></p>
EF8	<p>Aluno 8: <i>Isso foi o que eu menos estudei. Vejamos. Expansão seria eu usar o mesmo modelo para estudar uma coisa, um fenômeno, à primeira vista bem diferente do outro, por exemplo: o nosso modelo de pêndulo para estudar o gasto de energia no ato de caminhar. Foi o que a gente fez, né? Como é que o ato de caminhar se desenvolveria melhor? Então, tinha aquelas perguntas iniciais: o que é melhor, passadas largas ou passadas curtas? Eu nunca tinha pensado que isso poderia se resolver com um modelo de pêndulo. Então, na minha opinião, isso é expansão. Pega um modelo de pêndulo que serve para descrever o movimento do mouse preso pelo seu fiozinho e também serve para descrever o ato de caminhar.</i></p>
EF9	<p>Aluno 8: <i>Generalização é quando de um modelo eu consigo fazer uma inferência para um campo mais amplo, por exemplo: não sei se seria, em qualquer movimento, não, movimento não. [Silêncio] A entropia existe. Isso é ponto pacífico. Não tem como eu inventar um sistema ou trabalhar numa faixa de domínio que eu possa fugir da entropia. Eu acho que isso seria uma generalização.</i></p> <p>Entrev.: Usar a representação do sistema planetário para descrever o comportamento da matéria, do ponto de vista microscópico, é uma expansão ou generalização?</p> <p>Aluno 8: <i>Eu acho que é uma expansão.</i></p>
EF10	<p>Aluno 8: <i>Modelo científico é um artifício que a gente usa para poder usar uma situação real. E aí a gente tem que usar as variáveis, os parâmetros, os referentes, as idealizações e as aproximações.</i></p>

Passemos agora a comentários interpretativos da entrevista realizada com o Aluno 8. Tais comentários refletem também, e não secundariamente, a interação com o Aluno 8 ao longo dos encontros virtuais síncronos. O objetivo aqui, é buscar evidências de possíveis avanços no domínio conceitual associado ao campo da modelagem de fenômenos físicos, por parte do Aluno 8.

Em nossa interação com o Aluno 8 pudemos perceber o seu interesse em participar dos encontros síncronos no MBMS e na realização das tarefas propostas. Nas aulas virtuais e nos fóruns de discussão, sua participação pode ser considerada satisfatória. Desde o início do curso, percebemos a facilidade com que o Aluno 8 expunha suas idéias sobre Ciência. Quanto aos aspectos conceituais envolvidos na modelagem de fenômenos físicos, suas respostas à entrevista evidenciam a dificuldade em diferenciar os referentes envolvidos na situação a ser modelada dos parâmetros utilizados pelo modelo para representar as propriedades e os estados destes referentes. Embora não tenha aparecido em algumas situações, esta dificuldade acompanhou o Aluno 8 por todo o curso. Quanto às idealizações, o Aluno 8 parece ter compreendido o papel fundamental que exercem na construção de representações esquemáticas da realidade. Contudo, a dificuldade em diferenciá-las das aproximações permaneceu. Ainda sobre as idealizações, o Aluno 8 parece compreender um aspecto importante: a sua relação com o domínio de validade e o grau de precisão dos modelos científicos. Além disso, na discussão que estabelece no seu projeto final sobre a razoabilidade da solução que encontra, demonstra ter compreendido a relação entre o domínio de validade e o processo de expansão dos modelos científicos. Nesse sentido, acreditamos que o Aluno 8 demonstrou avanços no domínio do campo conceitual da modelagem científica.

5.2 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Antes de iniciar o curso *Fenômenos físicos e modelos científicos*, por ocasião do primeiro encontro presencial, realizamos uma espécie de sondagem sobre algumas concepções dos professores de Física em relação aos modelos, às teorias e à natureza da Ciência em geral. Ainda que se reconheça o caráter superficial desta sondagem, é interessante notar algumas concepções sobre o papel e a natureza dos modelos científicos, sintetizadas na Tabela 26.

Tabela 26 – Síntese das concepções dos professores de Física sobre o papel e a natureza dos modelos científicos no Questionário Inicial.

Quanto ao papel dos modelos científicos	Quanto à natureza dos modelos científicos
<ul style="list-style-type: none"> • Padrão utilizado para avaliar a coerência das leis, princípios e teorias científicas. • Método para avaliar a maturidade das teorias científicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Descrição aproximada da natureza. • Ferramenta (uma simulação computacional, por exemplo) para descrever um fenômeno físico. • Explicação aperfeiçoável de um fenômeno físico.

Quanto ao papel dos modelos científicos	Quanto à natureza dos modelos científicos
	<ul style="list-style-type: none"> • Conjunto de fatores (entidades) e as relações entre elas que permitem estudar algo.

Durante as duas primeiras semanas do curso a distância, ao realizarem as Tarefas 1 e 2 e ao participarem dos Fóruns de discussão 1, 2 e 4, os professores de Física manifestaram outras concepções sobre o papel e a natureza dos modelos científicos. Tais concepções estão sintetizadas na Tabela 27.

Tabela 27 – Síntese das concepções dos professores de Física sobre modelos científicos durante as duas primeiras semanas do curso a distância.

Quanto ao papel dos modelos científicos	Quanto à natureza dos modelos científicos
<ul style="list-style-type: none"> • Simular a realidade nas situações em que se mostra inacessível. • Aproximar a teoria da realidade. • Não faz sentido modelar a realidade quando se tem acesso direto ao fenômeno de interesse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analogia com situações familiares. • Representação simplificada da realidade. • Representação aperfeiçoável que descreve, da melhor forma possível, os fenômenos físicos. • Enunciado de lei, princípio, teoria geral e campo de interesse da Física. • Explicação construída a partir da formulação de hipóteses e analogias.

Nesse momento do curso a distância, os professores já haviam lido os Textos de Apoio 1, 2 e 3, participado do primeiro encontro presencial e assistido ao primeiro encontro virtual. Além do que foi exposto na Tabela 27, gostaríamos de ressaltar que na Tarefa 2, três dos oito professores de Física propuseram como tentativa de resposta às questões-foco por eles formuladas, em vez de modelos científicos, outras situações que, eventualmente, poderiam ser representadas por um mesmo modelo científico. Contudo, já foi possível notar uma mudança de postura dos professores de Física, principalmente, em relação ao papel dos modelos científicos, à exceção da última concepção na coluna esquerda. Além disso, é possível observar o aparecimento da noção de que os modelos são representações da realidade, ainda que nem sempre a melhor, como sugere a terceira concepção na coluna direita.

Ao final do curso, por ocasião do segundo encontro presencial, realizamos uma entrevista em busca de evidências que pudessem indicar algum tipo de alteração na concepção de modelo científico por parte dos professores de Física. Tais concepções estão sintetizadas na Tabela 28.

Tabela 28 – Síntese das concepções dos professores de Física sobre modelos científicos ao final do curso a distância.

Quanto ao papel dos modelos científicos	Quanto à natureza dos modelos científicos
<ul style="list-style-type: none"> • Ferramenta, utilizada por nós, para construir uma cópia aproximada da realidade. • Instrumento para análise de fenômenos físicos. • Maneira de aproximar o fenômeno físico do aluno. • Tentativa de explicação de fatos da natureza, levando em consideração os pressupostos teóricos existentes. • Artificio, utilizado por nós, para estudar uma situação real. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aproximação da realidade. • Conceito, idéia e teoria que possibilitam analisar experiências, que possuem limitações e erros, e que evoluem no tempo. • Descrição de um fenômeno a partir do conhecimento prévio, de idealizações e de expansões. • Seleção conveniente de variáveis para descrever um evento.

Analisando a Tabela 28, destacamos como aspectos positivos nas concepções apresentadas pelos professores de Física sobre modelos científicos: a importância dos pressupostos teóricos na construção e no uso de modelos científicos; a noção de que os modelos são descrições aproximadas de fenômenos físicos e o papel das idealizações e da seleção conveniente de variáveis na adequação dos modelos aos fatos reais. Acreditamos que estes aspectos se devem, especialmente: à discussão realizada com os professores de Física durante o quarto encontro virtual, onde utilizamos o *software* Tracker para analisar o vídeo em que uma bola de pingue-pongue realiza um movimento parabólico; à série de textos de apoio elaborados para o curso, que sempre buscaram enfatizar a idéia de que os modelos são representações aproximadas da realidade; e à atividade que realizamos em conjunto com os professores, onde construímos um modelo capaz de responder algumas questões formuladas previamente sobre o ato de caminhar. Ainda sobre as idealizações, gostaríamos de ressaltar que, do nosso ponto de vista, o Texto de apoio nº 3, no qual discutimos o papel das idealizações no processo de modelagem de fenômenos físicos, foi, sem dúvida, o texto que fez uso de uma linguagem mais próxima e adequada aos professores de Física do ensino médio.

Quanto aos conceitos específicos envolvidos na modelagem de fenômenos físicos, sintetizamos na Tabela 29 as concepções que mais apareceram não só na Entrevista Final como também durante o curso a distância.

Tabela 29 – Síntese das concepções dos professores de Física sobre os conceitos envolvidos na modelagem de fenômenos físicos durante o curso a distância.

Conceito envolvido no processo de modelagem de fenômenos físicos	Concepções adequadas	Concepções inadequadas
Idealização	<ul style="list-style-type: none"> Recorte da realidade. Aspecto que pode ser desprezado por não ser relevante para a descrição de um fenômeno físico. Impõe limitação ao modelo científico para descrever a realidade. <i>“As idealizações estão ligadas com o modelo conceitual”</i> (ALUNO 7). 	<ul style="list-style-type: none"> Confusão com o conceito de aproximação.
Aproximação	<ul style="list-style-type: none"> Discordância entre os resultados teóricos e os experimentais. Simplificação matemática dentro do modelo científico. 	<ul style="list-style-type: none"> Confusão com o conceito de idealização.
Referente	<ul style="list-style-type: none"> <i>“Entes que estão envolvidos na situação”</i> (ALUNO 2). <i>“Agentes que acabam influenciando”</i> (ALUNO 6). <i>“São os entes que eu tenho que focalizar mais agudamente a visão”</i> (ALUNO 8). 	<ul style="list-style-type: none"> Confusão com parâmetro. Aquilo que serve de referência. <i>“...personagens do evento, que seriam as grandezas em si e as variáveis”</i> (ALUNO 7).
Variável	<ul style="list-style-type: none"> Tudo aquilo que está sujeito à mudança no problema. <i>“...a variável vai depender do que eu modificar”</i> (ALUNO 5). Grandeza que varia no evento. 	<ul style="list-style-type: none"> Confusão com o conceito de referente.
Parâmetro	<ul style="list-style-type: none"> <i>“...aquilo que seria constante em determinada situação, que não teria alteração naquela situação...”</i> (ALUNO 2). <i>“O parâmetro é tudo aquilo que não vai variar”</i> (ALUNO 3). 	<ul style="list-style-type: none"> Confusão com referente.
Domínio de validade	<ul style="list-style-type: none"> Confiabilidade do modelo. <i>“Se eu faço muitas idealizações esse meu</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Confusão com grau de precisão. <i>“O modelo vai me servir</i>

Conceito envolvido no processo de modelagem de fenômenos físicos	Concepções adequadas	Concepções inadequadas
	<p><i>domínio de validade, ele fica restrito” (ALUNO 1).</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Até quando o modelo fornece respostas coerentes. • Abrangência do modelo em termos da quantidade de situações que pode representar. • Associado ao limite máximo de variação das variáveis e dos parâmetros. • <i>“É algo circunscrito pelas idealizações, pelas aproximações” (ALUNO 8).</i> 	<p><i>quando eu usar aquele modelo para n situações. Se eu usar só para duas situações aquele modelo não vai me servir” (ALUNO 5).</i></p>
Grau de precisão	<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade das respostas às questões-foco. • Quanto menor o erro, maior a precisão do modelo. • A precisão de um modelo depende da escolha das variáveis e dos parâmetros para estudar a situação. • Concordância com os resultados previstos pelo modelo teórico. Nesse sentido, quanto menos informação disponível sobre o evento, menos condizente com a realidade será o modelo. • Concordância do modelo com a teoria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Confusão com domínio de validade.
Expansão	<ul style="list-style-type: none"> • Aperfeiçoamento do modelo. • Agregando-se novos fatores ao modelo, obtemos resultados mais precisos. • Melhorar o modelo teórico com o objetivo de expandir o seu domínio de validade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Confusão com generalização. • Utilizar um modelo para estudar fenômenos diferentes.
Generalização	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o formalismo de um modelo em outras áreas da Física. • Criar um modelo capaz de descrever diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Confusão com expansão.

Conceito envolvido no processo de modelagem de fenômenos físicos	Concepções adequadas	Concepções inadequadas
	situações. <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o mesmo modelo (relações matemáticas) em eventos semelhantes. • Possibilidade de inferência para um campo mais amplo. 	

Analisando a Tabela 29, podemos observar as dificuldades dos professores de Física em diferenciar alguns conceitos específicos, tais como: idealização e aproximação; referente e parâmetro; domínio de validade e grau de precisão; e expansão e generalização. Nesse sentido, é preciso reconhecer nossas falhas. Ao re-visitamos os textos de apoio e as discussões nos encontros virtuais pudemos verificar a falta de uma ênfase maior na diferenciação entre os conceitos de idealização e aproximação. Quanto à dificuldade apresentada pelos professores de Física em relação à diferenciação entre os conceitos de referente e parâmetro, acreditamos não ter cometido o mesmo erro. Para nós esta dificuldade parece estar associada às deficiências de conteúdo em Física, tais como: a determinação do que venha a ser o sistema físico de interesse na situação envolvida, incluindo os objetos/eventos internos ao sistema e os agentes externos que interagem com o mesmo; e a determinação das grandezas físicas que descrevem as propriedades e caracterizam o estado dos objetos que compõem o sistema e/ou o sistema como um todo. Já a confusão, e não exatamente dificuldade, entre domínio de validade e grau de precisão de modelos científicos ocorreu, do nosso ponto de vista, pelo fato de que os dois aspectos conceituais estão intimamente relacionados e, de certo modo, parecem nunca terem sido discutidos pelos professores de Física. Por isso, acreditamos que com um pouco mais de instrução, esta confusão pode ser desfeita. Por fim, quanto aos conceitos de expansão e generalização de modelos científicos, devemos reconhecer nossa falha no sentido de não ter propiciado uma discussão maior destes conceitos ao final do curso a distância.

No Capítulo 6, apresentamos algumas considerações finais sobre a investigação de estratégias didáticas baseadas na noção e no uso de modelos científicos e apontaremos perspectivas futuras para a continuidade deste trabalho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto científico contemporâneo, o processo de modelagem, entendido como a atividade de criação de modelos com a finalidade de reconstruir conceitualmente a realidade, assume um papel fundamental na busca por respostas que auxiliam o homem a compreender o mundo em que vive e a si mesmo. Nesse sentido, a atividade de modelagem torna-se essencial à condição humana. Entretanto, os cientistas teóricos não possuem receitas a serem seguidas na construção de modelos científicos que contenham fundamento na realidade e que concordem com os fatos, dentro de um contexto de validade, com desejável grau de precisão. Existem sim, exemplos clássicos de modelos bem-sucedidos que orientam esta atividade científica que, por sua vez, requer uma mistura de bom-senso, criatividade e experiência por parte daquele que deseja representar a realidade.

Já no contexto educacional atual, o processo de modelagem pode ser entendido como a atividade de criação e exploração de modelos científicos com objetivos didáticos. Nesse sentido, mais do que uma ferramenta útil para a resolução de problemas, a modelagem didático-científica pode contribuir de forma significativa para uma visão sobre Ciência, por parte de estudantes e professores, mais adequada à prática científica contemporânea, cuja essência está na criação de modelos (VEIT e ARAUJO, 2004). Contudo, a construção e a exploração de modelos científicos com fins didáticos, incluindo a capacidade de prever, explicar e analisar a razoabilidade dos resultados obtidos com os mesmos, é um processo que ocorre lentamente. Da mesma forma que na Ciência, não existem, no contexto educacional, métodos de ensino que garantam o sucesso da aprendizagem do processo de modelagem. Existem sim, estratégias e recursos didáticos que podem ser utilizados de modo a favorecer a aquisição de competências específicas à modelagem científica, levando em conta os aspectos conceituais de seu domínio. E de modo semelhante ao que ocorre no contexto científico, este processo de conceitualização do real requer aprendizagem, maturidade e experiência.

Assim sendo, nos parece que o caminho a ser seguido deve, necessariamente, possibilitar ao sujeito que deseja aprender, o enfrentamento de situações envolvendo a modelagem de fenômenos de interesse da disciplina científica que se quer conhecer. Foi pensando nisso, que procuramos elaborar uma estratégia didática, voltada para professores de Física do ensino médio, implementada na forma de um curso a distância, com o objetivo de

favorecer o domínio do campo conceitual associado à modelagem de fenômenos físicos por parte deste público-alvo.

Porém, antes de prosseguir em nossas considerações finais, nos parece oportuno aprofundar a discussão sobre as seguintes questões: é possível definir um campo conceitual para a modelagem científica, na acepção que Vergnaud atribui a este conceito em sua teoria? O campo conceitual da modelagem científica não se estenderia *ad infinitum*? Ao final deste trabalho, acreditamos estar mais capacitados para refletir sobre estes questionamentos.

Vergnaud entende um campo conceitual como sendo “um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição” (1982, apud. MOREIRA, 2004b, p. 08). Partindo dessa definição, e aceitando que o processo de modelagem é um dos pilares na construção do conhecimento científico, parece razoável percebê-lo como um conjunto infinito de situações e problemas. Por outro lado, Vergnaud considera um campo conceitual como sendo uma unidade de estudo que apresenta dificuldades específicas em relação ao processo de conceitualização do real. Nesse sentido, acreditamos ser útil delimitar o campo conceitual *associado* à modelagem científica, tendo em vista que para dominar situações e problemas envolvendo a modelagem de fenômenos físicos, o sujeito precisa dominar uma série de conceitos de natureza distinta, porém, inseparáveis da noção de modelo em Física. Contudo, na medida em que estamos interessados no processo de ensino-aprendizagem de conceitos como idealização, aproximação, domínio de validade, etc, torna-se inútil simplesmente defini-los. São as situações que dão sentido aos conceitos. Reside aí a nossa justificativa para não termos focado um conteúdo específico da Física, embora reconheçamos a importância dos aspectos conceituais relativos ao mesmo para o domínio de campos conceituais tais como o Eletromagnetismo Clássico, a Mecânica Clássica, a Termodinâmica, etc.

Quanto à nossa opção pela modalidade de ensino a distância, é preciso dizer que em momento algum estivemos interessados em investigar as implicações de sua utilização para o processo de ensino/aprendizagem, embora reconheçamos a importância de tais pesquisas e tenhamos aprendido muito com as dificuldades e possibilidades inerentes a esta modalidade de ensino. Como destacamos na Introdução, esta opção foi deliberadamente a de aproximar, do meio acadêmico, professores de Física do ensino médio interessados em sua atualização

profissional e que enfrentam dificuldades em participar de um curso presencial. Nesse sentido, nossa proposta parece ter cumprido seu objetivo inicial, tendo em vista que, dos dezoito professores que iniciaram o curso, doze residiam fora de Porto Alegre, ou na região metropolitana ou no interior do estado. E entre os oito professores que concluíram o curso, três residiam no interior do estado e um na região metropolitana. Ainda sobre o número de professores, gostaríamos de chamar a atenção para o índice percentual de desistência do curso *Fenômenos físicos e modelos científicos*: aproximadamente 50%. Embora insatisfeitos com este resultado, cabe ressaltar que na maioria dos cursos realizados a distância os índices de evasão costumam ser altíssimos.

Segundo levantamento realizado entre os professores de Física que não chegaram a concluir o nosso curso, o fator preponderante para a desistência foi o fato de o curso ter ocorrido durante os meses de outubro e novembro. De acordo com os professores, a proximidade do curso com o término do ano letivo nas escolas e, conseqüentemente, o acúmulo de atividades profissionais como correção de avaliações, fechamento de notas, entre outras, parece ter contribuído de forma negativa para um empenho mais efetivo por parte dos professores. Por outro lado, o modo como utilizamos a plataforma de educação a distância TelEduc, estimulando o debate nos fóruns de discussão e o uso do correio eletrônico interno a este ambiente, a utilização do sistema de videoconferência *Macromedia Breeze Meeting Server*, possibilitando um ganho substancial do ponto de vista da interação entre os professores de Física e destes com o ministrante, assim como o uso de recursos computacionais como o *software* Tracker e as simulações computacionais, que sabidamente despertam um interesse natural em alguns estudantes e professores, parecem ter sido fatores que contribuíram de forma positiva para um engajamento maior dos professores na realização das atividades propostas ao longo do curso.

Outro aspecto importante a ser salientado é o da motivação para aprender proporcionada pela estratégia didática, centrada na noção de modelo científico, que elaboramos para os professores de Física do ensino médio. Como se pode observar nos relatos iniciais de cada entrevista, os professores sentiram-se desafiados e estimulados a refletirem sobre aspectos conceituais que, na maioria das vezes, permanecem implícitos seja quando se faz uso de uma simulação computacional, seja na resolução de problemas típicos de livros de texto de Física. Nesse sentido, acreditamos que este trabalho forneceu uma série de pequenos subsídios, por assim dizer, ainda que não saibamos precisá-los, para que os professores de

Física possam caminhar em direção a um ensino que vise a compreensão real do conteúdo e que, como bem salientado por Eric Rogers, “saber dar nomes novos às coisas é algo bem diferente de compreendê-las” (MEDEIROS, 2007, p. 40).

De um ponto de vista mais imediato, podemos mencionar como contribuição deste trabalho, a produção do material didático utilizado no curso a distância contendo uma série de textos de apoio que enfocam, detalhadamente, e numa linguagem adequada ao professor de Física do ensino médio, os diversos aspectos conceituais envolvidos na modelagem científica em geral e de fenômenos físicos em particular. Além disso, este material didático contempla um conjunto de situações, apresentadas na forma de tarefas, que contextualizam fenômenos de interesse bem conhecidos da Física, seja através do enunciado de problemas extraídos de livros de texto ou da exploração de simulações computacionais, porém, sempre problematizadas de modo a focar os conceitos subjacentes à modelagem do fenômeno físico em questão.

Como forma de contribuir para estudos futuros sobre o tema, salientamos a importância de pesquisas educacionais que se ocupem em investigar as potencialidades e limitações de estratégias didáticas que favoreçam a aquisição de competências específicas ao processo de modelagem por parte de estudantes e professores de Ciências em geral e da Física em particular. Especificamente no que se refere ao referencial teórico adotado, é necessária a continuação de investigações, num nível de profundidade maior, que permitam uma melhor compreensão das dificuldades, concepções e conhecimentos-em-ação utilizados por estudantes e professores para dominar os aspectos conceituais do campo conceitual associado à modelagem científica, levando-se em conta os próprios conteúdos do conhecimento.

Para concluir este trabalho, devemos ressaltar que os principais resultados alcançados estão relacionados ao enriquecimento das concepções dos professores sobre os modelos e modelagem científica. Destaca-se a explicitação de algumas dificuldades conceituais na compreensão dos modelos, em particular sobre alguns atributos associados aos mesmos, como domínio de validade, aproximação e referente. Além disso, como nos limitamos a uma avaliação descritiva de natureza qualitativa, para completar a análise dos dados, dever-se-á retomá-los com o intuito de agrupar os professores, e a evolução dos seus perfis epistemológicos, em categorias bem definidas.

REFERÊNCIAS

ANDRÉ, M. E. D. A. **Etnografia da prática escolar**. 2. ed. Campinas: Papyrus, 1998.

ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 5-18, set./dez. 2004.

AUSUBEL, D. P. **The acquisition and retention of knowledge**: a cognitive view. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000.

BONJORNO, J. R. et al. **Temas de física**. São Paulo: FTD, 1997. v. 1.

BOZELLI, F. C.; NARDI, R. O discurso analógico no ensino superior de física. In: NARDI, R.; ALMEIDA, M. J. P.M. (Org.). **Analogias, leituras e modelos no ensino de ciência**: a sala de aula em estudo. São Paulo: Escrituras, 2006, p. 11-28.

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

COLL, R. K. et al. The role of models/and analogies in science education: implications from research. **International Journal of Science Education**, London, v. 27, n. 2, p. 183-198, Feb. 2005.

CROWFORD, B. A.; CULLIN, M. J. Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. **International Journal Science Education**, London, v. 26, n. 11, p. 1379-1401, Sept. 2004.

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

ERICKSON, F. Qualitative methods in research on teaching. In: WITTROCK, M. C. (Ed.) **Handbook of research on teaching**. 3. ed. New York: Macmillan, 1986. p. 119-161.

FRANCHI, A. Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In: MACHADO, S. D. A. et al. **Educação matemática**: uma introdução. São Paulo: EDUC, 1999. p. 155-195.

GASPAR, A. **Física**. São Paulo: Ática, 2000. v. 1.

GIERE, R. N. et al. **Understanding scientific reasoning**. Toronto: Thomson Wadsworth, 2006.

GILBERT, S. W. Model building and a definition of science. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 28, n. 1, p. 73-79, Jan. 1991.

GROSSLIGHT, L. et al. Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 28, n. 9, p. 799-822, Nov. 1991.

HALLOUN, I. Schematic modeling for meaningful learning of physics. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 33, n. 9, p. 1019-1041, Nov. 1996.

HALLOUN, I. A. **Modeling theory in science education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004.

HARRISON, A. G.; TREAGUST, D. F. Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. **Science Education**, New York, v. 80, n. 5, p. 509-534, Sept. 1996.

HARRISON, A. G.; TREAGUST, D. F. A typology of school science models. **International Journal of Science Education**, London, v. 22, n. 9, p. 1011-1026, Sept. 2000.

ISLAS, S. M.; PESA, M. A. Futuros docentes y futuros investigadores se expresan sobre el modelado em física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 319-328, set. 2001.

JUSTI, R.; GILBERT, J. History and philosophy of science through models: some challenges in the case of "the atom". **International Journal of Science Education**, London, v. 22, n. 9, p. 993-1009, Sept. 2000.

KRAPAS, S. et al. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 185-205, set./dez. 1997.

LOMBARDI, O. La noción de modelo en ciencias. **Educación en Ciencias**, Buenos Aires, v. 2, n. 4, p. 5-13, ene./abr. 1998.

MAZUR, E. **Peer instruction: a user's manual**. Upeer Saddle River: Prentice Hall, 1997.

MBMS Macromedia Breeze Meeting Server. Disponível em:
<<http://www.adobe.com/support/documentation/en/breeze/>>. Acesso em: 11 fev. 2008.

MEDEIROS, A. Eric Rogers e o ensino de física moderna. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 40-43, maio 2007.

MEYLING, H. How to change students' conceptions of the epistemology of science. **Science & Education**, New York, v. 6, n. 4, p. 323-329, July 1997.

MOREIRA, M. A. Investigación básica en educación en ciencias: una visión personal. **Revista Chilena de Educación Científica**, Santiago, v. 3, n. 1, p. 10-17, jul. 2004a.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação nesta área. In: MOREIRA, M. A. (Org.). **A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação nesta área**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2004b. p. 7-32.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo. In: PIETROCOLA, M. (Org.) **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001. p. 9-32.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 213-227, set./dez. 1999.

PIRES, M. A.; VEIT, E. A. Tecnologias de informação e comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 241-248, jun. 2006.

REZENDE, F. As novas tecnologias na prática pedagógica sob a perspectiva construtivista. **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, Belo Horizonte, v. 2, n. 1, p. 1-18, mar. 2002.

RYDER, J.; LEACH, J.; DRIVER, R. Undergraduate science students' imagines of science. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 36, n. 2, p. 201-219, Feb. 1999.

TELEDUC Ambiente de Ensino a Distância. Disponível em:
<<http://teleduc.nied.unicamp.br>>. Acesso em: 11 fev. 2008.

TREAGUST, D. F.; CHITTLEBOURGH, G.; MAMIALA, T. L. Students' understanding of the role of scientific models in learning science. **International Journal of Science Education**, London, v. 24, n. 4, p. 357-368, Apr. 2002.

VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Modelagem computacional no ensino de física. **Educação**, Maceió, v. 13, n. 21, p. 51-70, dez. 2004.

VERGNAUD, G. Teoria dos campos conceituais. In: Seminário Internacional de Educação Matemática, 1., 1993, Rio de Janeiro. **Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática**, Rio de Janeiro: NASSER, L., 1993. p. 1-26.

VERGNAUD, G. Algunas ideas fundamentales de Piaget em torno a la didáctica. **Perspectivas**, París, v. 26, n. 10, p. 195-207, marzo 1996.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. **Journal of Mathematical Behavior**, Dordrecht, v. 17, n. 2, p. 167-181, June 1998.

APÊNDICE A

Questionário Inicial

QI1) O que você entende por modelo científico? Justifique sua resposta dando um exemplo.

QI2) O que você entende por teoria científica? Justifique sua resposta dando um exemplo.

QI3) No contexto da Ciência, o que você entende por verdade? Em outros termos, existem teorias científicas verdadeiras?

QI4) Do seu ponto de vista, qual o objetivo maior da Ciência?

QI5) Do seu ponto de vista, o que distingue o conhecimento científico de outras formas de conhecimento?

APÊNDICE B

Neste apêndice, apresentamos as tarefas que foram desenvolvidas para serem aplicadas no curso a distância *Fenômenos físicos e modelos científicos*. Para um melhor entendimento do leitor, a apresentação das tarefas foi dividida em dois itens:

- a) objetivos a serem alcançados pelos alunos; e
- b) apresentação da tarefa.

Primeira semana

Tarefa 1

a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- A partir da leitura do texto, o aluno deverá progredir na compreensão do conceito de modelo conceitual.
- A partir da leitura do texto, o aluno deverá progredir na compreensão sobre o papel mediador dos modelos científicos na passagem do mundo real-percebido para o mundo real-idealizado.

b) Apresentação da tarefa

- 1) Primeiramente, leia o texto que se segue:

Os três parágrafos e a figura abaixo foram extraídos do capítulo introdutório do livro *Física: Mecânica* de Alberto Gaspar, publicado pela Editora Ática no ano de 2000. Este livro corresponde ao primeiro volume da coleção de três livros de texto didáticos destinados ao ensino de Física em nível médio. O texto aborda os *modelos* na ciência em geral e na Física em particular.

“Para entender o que é um *modelo*, vamos descrever como alguns povos antigos imaginavam a Terra. Os maias acreditavam que a Terra fosse, na verdade, as costas de um gigantesco lagarto ou crocodilo estendido num enorme lago; para os babilônios a Terra era plana, circundada de oceanos e no centro localizava-se a Babilônia. Os filósofos gregos formulavam outras hipóteses: Anaxíandro supunha que a Terra fosse um cilindro e que todos os seres habitassem a sua

face circular superior; Anaxímenes acreditava que ela fosse apenas um disco; enquanto Eratóstenes já admitia que ela tivesse a forma esférica. Todas essas idéias são diferentes *modelos* da forma da Terra.

Em geral, os físicos recorrem a modelos para poder desenvolver o seu trabalho. A forma como entendemos a estrutura da matéria, composta de moléculas, átomos, elétrons, prótons, nêutrons e outras partículas distribuídas em núcleos ou orbitais, é um modelo elaborado pelos físicos e químicos. Como nossos antepassados, que propunham diferentes formas para a Terra porque não podiam vê-la à distância, os cientistas propõem formas para a estrutura da matéria porque ainda não há como observá-la diretamente.

É claro que os modelos, como leis e os princípios, também são provisórios e sujeitos a reformulações. No caso da Terra, por exemplo, não há mais sentido em fazer modelos da sua forma – ela já é conhecida, foi vista e fotografada à distância por satélites e naves espaciais. No entanto, é possível considerá-la como um ponto em determinadas situações, como, por exemplo, ao medir a sua distância ao Sol. Essa é uma outra idéia de modelo muito utilizada em Física – a simplificação de determinada situação ou problema, desconsiderando os aspectos não relevantes ou desprezíveis” (GASPAR, 2000, p. 15).



Hoje é possível afirmar que a Terra é uma esfera quase perfeita. Essa afirmação não é um modelo; é um fato que esta foto torna evidente.

2) Agora, responda as questões que seguem.

a) Com base na leitura do texto e na figura, o que o autor entende por *modelos* em ciência?

b) Qual é a sua concepção sobre *modelos* em ciência? Ela está de acordo com a concepção do autor? Em caso negativo, explicita os pontos em que você diverge?

c) Com base nos itens a) e b), que papel você atribuiria aos *modelos* no ensino da Física?

Tarefa 2

a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- O aluno deverá dar-se conta da importância de formular questões-foco interessantes.
- O aluno deverá progredir na compreensão de que a escolha de um modelo científico depende das questões-foco que se procura responder.

b) Apresentação da tarefa

Na primeira coluna da tabela abaixo, constam cinco situações em Física. Formule uma ou mais questões interessantes, para cada situação-problema apresentada, e indique que modelo científico você usaria para tentar respondê-las. Para dar uma idéia do tipo de resposta que se espera, é apresentado um exemplo na primeira linha da tabela.

Situação	Questões-foco	Modelo científico
Emissão de radiação eletromagnética por um corpo a uma temperatura maior que o zero absoluto.	<ul style="list-style-type: none">• A que se deve essa emissão?• Qual a frequência da radiação eletromagnética emitida pelo corpo?	Modelo atômico de Thomson
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial.		
Condução de calor através de uma barra metálica.		
Um automóvel fazendo uma curva.		
Um circuito elétrico constituído de uma bateria e lâmpadas associadas em paralelo.		
Uma xícara de chá quente em temperatura ambiente.		

Segunda semana

Tarefa 3

a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- O aluno deverá progredir na compreensão do conceito de idealização e suas implicações para a representação de situações reais.
- O aluno deverá evoluir na sua capacidade de refletir sobre os erros (grau de precisão) inerentes às idealizações que constituem os modelos conceituais.

b) Apresentação da tarefa

Uma carreta de 20 m de comprimento atravessa uma ponte de 60 m de comprimento com velocidade constante de 72 km/h (20 m/s). Determine:

- a) o intervalo de tempo gasto para a carreta atravessar completamente esta ponte;
- b) qual deve ser o intervalo de tempo gasto para a carreta atravessar completamente uma ponte de 2000 m de comprimento;
- c) em qual das situações anteriores é possível considerar a carreta como uma partícula pontual; justifique sua resposta estimando o erro percentual no intervalo de tempo gasto para a travessia em ambos os casos;
- d) que implicações físicas decorrem de considerar a carreta como uma partícula pontual.

Adaptado de: GASPAR, Alberto. *Física: Mecânica*. São Paulo: Editora Ática, 2000, v. 1, p. 44.

Tarefa 4

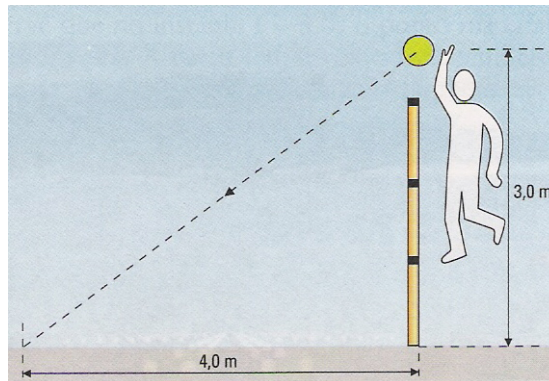
a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- A partir da contextualização proposta no enunciado do problema, o aluno deverá progredir na compreensão do conceito de aproximação.
- A partir da abordagem e das simplificações feitas no enunciado do problema, o aluno deverá progredir na compreensão do conceito de idealização.

b) Apresentação da tarefa

1) Primeiramente, leia com atenção a situação-problema abaixo.

Marcelo Negrão, numa partida de vôlei, deu uma cortada na qual a bola partiu com uma velocidade de 126 km/h (35 m/s). Sua mão golpeou a bola a 3,0 m de altura, sobre a rede, e ela tocou o chão do adversário a 4,0 m da base da rede, como mostra a figura.



Nessa situação pode-se considerar, com boa aproximação, que o movimento da bola é retilíneo e uniforme. Considerando essa aproximação, qual o tempo decorrido entre o golpe do jogador e o toque da bola no chão?

Adaptado de: GASPAR, Alberto. *Física: Mecânica*. São Paulo: Editora Ática, 2000, v. 1, p. 73.

2) Com base na situação acima, responda:

- Por que o autor afirma que a situação acima é uma “boa aproximação” para a situação real de jogo?
- Do seu ponto de vista, quais são as **idealizações** feitas na situação da figura acima?

Terceira semana

Tarefa 5

a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- O aluno deverá aprimorar a sua capacidade de formular questões-foco interessantes.

- A partir da abordagem e das simplificações feitas pela simulação computacional, o aluno deverá progredir na compreensão do conceito de idealização.
- A partir da contextualização da simulação computacional, o aluno deverá aprimorar a sua capacidade de identificar os referentes envolvidos no problema.
- A partir da exploração da simulação computacional, o aluno deverá aprimorar a sua capacidade de identificar as variáveis, os parâmetros e as relações subjacentes à implementação da mesma.

b) Apresentação da tarefa:

1) Primeiramente, você deve acessar o link abaixo:

http://www.walter-fendt.de/ph14br/collision_br.htm



Figura B.1 – Tela ilustrativa da simulação computacional referente à Tarefa 5.

- 2) Em seguida, você deve familiarizar-se com a simulação computacional. Dica: interaja com todos os recursos disponíveis e reflita sobre a Física envolvida nesta situação-problema.
- 3) Formule duas questões-foco **interessantes** para serem respondidas a partir desta simulação computacional.
- 4) Que idealizações foram consideradas pelo autor da simulação computacional?
- 5) Quais os referentes envolvidos nesta simulação computacional?
- 6) Responda as questões-foco explicitando as relações, as variáveis e os parâmetros envolvidos na sua solução.

Tarefa 6

a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- O aluno deverá aprimorar a sua capacidade de contextualizar o uso da simulação computacional.
- A partir da abordagem e das simplificações feitas na simulação computacional, o aluno deverá progredir na compreensão do conceito de idealização.
- A partir da contextualização da simulação computacional, o aluno deverá aprimorar a sua capacidade de identificar os referentes envolvidos no problema.
- A partir da exploração da simulação computacional, o aluno deverá aprimorar a sua capacidade de identificar as variáveis, os parâmetros e as relações subjacentes à implementação da mesma.

b) Apresentação da tarefa

1) Primeiramente, você deve acessar o link abaixo:

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=48.0>

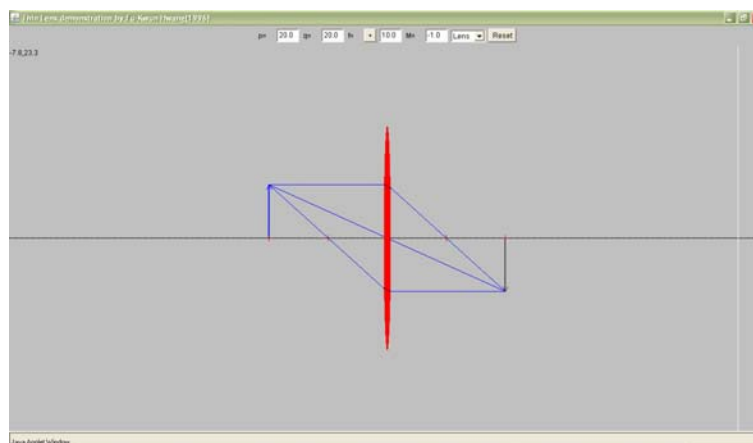


Figura B.2 – Tela ilustrativa da simulação computacional referente à Tarefa 6.

2) Em seguida, você deve familiarizar-se com a simulação computacional. Ela trata dos fenômenos da convergência e da divergência da luz em lentes e espelhos, do ponto de vista da Ótica Geométrica. Dica: nesta simulação podem ser alterados: a distância focal f , a distância objeto-espelho (ou lente) p , a distância imagem-espelho (ou lente) q e o aumento m (definido como a razão $m = -\frac{q}{p}$).

- 3) Formule duas questões-foco **interessantes** para serem respondidas a partir desta simulação computacional.
- 4) Que idealizações foram consideradas pelo autor da simulação computacional?
- 5) Quais os referentes envolvidos nesta simulação computacional?
- 6) Responda as questões-foco explicitando as relações, as variáveis e os parâmetros envolvidos na sua solução.

Quarta semana

Tarefa 7

a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- O aluno deverá progredir na compreensão das idéias envolvidas no Texto de apoio nº 5, tais como: a insuficiência das teorias gerais e dos modelos conceituais na questão da confrontação entre os resultados teóricos e os dados empíricos; os erros envolvidos nesse processo de confrontação; o exemplo da queda de um corpo; as insuficiências da visão empirista-indutivista na explicação de fatos reais; e a relação entre modelos teóricos, modelos computacionais e a experiência.

b) Apresentação da tarefa

Ler para a próxima semana o Texto de apoio *Confrontando teoria e realidade: a adequação dos resultados teóricos aos dados empíricos*.

Tarefa 8¹⁰

a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- A partir do fenômeno de interesse, o aluno deverá aprimorar sua capacidade de problematizar uma situação real.

¹⁰ Na terceira aula virtual, os professores trabalharam em conjunto na construção de um modelo capaz de responder algumas questões formuladas por eles sobre o ato de caminhar. A outra opção teria sido problematizar uma situação envolvendo como fenômeno de interesse, a conservação de energia. Esta ficou como tarefa individual, a Tarefa 8.

- Ao tratar de forma simplificada a situação-problema, o aluno deverá progredir na compreensão do conceito de idealização.
- A partir da contextualização do problema, o aluno deverá aprimorar sua capacidade de identificar os referentes envolvidos no problema.
- A partir da solução proposta, o aluno deverá aprimorar sua capacidade de explicitar as variáveis, os parâmetros e as relações do modelo utilizado.

b) Apresentação da tarefa

Para o fenômeno de interesse da "*Conservação de energia*", propor uma situação-problema, formular questões-foco interessantes, fazer as idealizações necessárias, selecionar os referentes, as relações, as variáveis e os parâmetros do modelo científico utilizado e propor uma solução ao problema. Ou seja, quero que realizem a mesma tarefa que fizemos em conjunto no último encontro. Como todos preferiram o fenômeno do "*ato de caminhar*", o da conservação de energia ficou como tarefa.

Quinta semana

Tarefa 9¹¹

a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- O aluno deverá progredir na compreensão do conceito de modelo teórico.
- O aluno deverá progredir na compreensão da importância dos pressupostos teóricos na escolha da curva que melhor se ajusta aos dados experimentais.

b) Apresentação da tarefa

Num experimento deixa-se uma pequena esfera de aço cair no ar a partir do repouso. Para diversos valores da altura H que a esfera foi abandonada, mediu-se o tempo de queda t . Os resultados são apresentados na tabela abaixo.

H (cm)	t (s)
0	0

¹¹ Tarefa adaptada de uma atividade elaborada pelo Prof. Fernando Lang da Silveira para a disciplina *Novas Tecnologias no Ensino de Física* (MEF005), do Mestrado Profissional em Ensino de Física do IF-UFRGS, ministrada pela Profa. Eliane Angela Veit no semestre de 2007/02.

<i>H</i> (cm)	<i>t</i> (s)
30	0,29
60	0,34
90	0,43
120	0,50
150	0,57
180	0,59
210	0,63

Utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) procedeu-se o ajuste de diversas funções a esses pontos, isto é, determinou-se pelo MMQ o(s) parâmetro(s) livre(s) das funções de ajustamento. A tabela abaixo apresenta as funções que resultaram desses ajustamentos, bem como o somatório dos quadrados dos resíduos (SQ). Resíduo é a diferença entre o valor obtido experimentalmente e o valor estimado pela função ajustada. Os valores dos parâmetros ajustados estão indicados em *itálico*.

Ajuste	Função	SQ (cm²)
1	$H = 265t$	6244
2	$H = 500t^2$	505
3	$H = 591t^2 - 50t$	360
4	$H = 575t^{2,24}$	345
5	$H = 450t^3 + 160t^2 + 47t$	329
6	$H = 12327t^4 - 17051t^3 + 8170t^2 - 1126t$	138

1) Com base na tabela acima, responda:

- Qual dessas funções você acha que um físico elegeria como a melhor candidata a descrever esses resultados experimentais? Justifique a sua escolha.
- Para a função escolhida, identifique os parâmetros de ajuste com grandezas físicas e especifique as suas unidades.

Sexta e sétima semana

Tarefa 10¹²

a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- A partir da exploração das simulações computacionais, o aluno deverá aprimorar sua capacidade de identificar diferentes modelos para o átomo de hidrogênio, comparando similaridades e diferenças entre os modelos.
- A partir da exploração das simulações computacionais e da leitura do Texto de apoio nº 6, o aluno deverá progredir na compreensão do conceito de expansão de um modelo científico, identificando: a) as predições e o domínio de validade de cada modelo; b) as modificações sofridas pelos modelos devido às mudanças nos pressupostos teóricos e nas idealizações; c) a maneira pela qual o novo modelo resolveu as insuficiências do seu predecessor e d) as subseqüentes deficiências do novo modelo.

b) Apresentação da tarefa

Esta tarefa pretende discutir as observações e inferências que conduziram a cada novo modelo atômico. Você poderá encontrar nas simulações *Models of the Hydrogen Atom* e *Rutherford Scattering*, disponíveis no endereço <<http://phet.colorado.edu/new/simulations/index.php?cat=Chemistry>>, ajuda para responder as questões abaixo.

Para dar a você uma idéia do tipo de resposta que esperamos, nós iniciaremos com um exemplo de observações e inferências que conduziram à transição do modelo atômico *Billiard Ball* para o modelo atômico *Plum Pudding*.

Billiard Ball para Plum Pudding

Antes de Thomson, pensou-se que os átomos fossem pedaços de matéria indivisíveis sem estrutura interna. Thomson observou que raios-X poderiam ionizar gases monoatômicos. Baseado nessa observação, ele inferiu que os átomos poderiam ser separados em uma parte negativa e uma parte positiva. Além disso, baseado nas observações de que raios catódicos poderiam ser convertidos em corrente e defletidos por um campo magnético, Thomson inferiu que os raios catódicos eram constituídos de cargas negativas e, portanto, que as cargas negativas pudessem ser removidas do interior dos átomos. Ele então desenvolveu um modelo do átomo no qual os elétrons...

¹² Tarefa adaptada de uma atividade elaborada por Sam McKagan, Kathy Perkins e Carl Wieman para exploração das duas simulações computacionais trabalhadas nesta tarefa.

Plum Pudding para Classical Solar System

Para responder as questões abaixo, abra a simulação *Rutherford Scattering*. Essa simulação é uma representação do ponto de vista microscópico do famoso experimento de Rutherford, no qual partículas alfa (núcleo de hélio) são disparadas para cima de uma lâmina metálica (ouro) delgada.

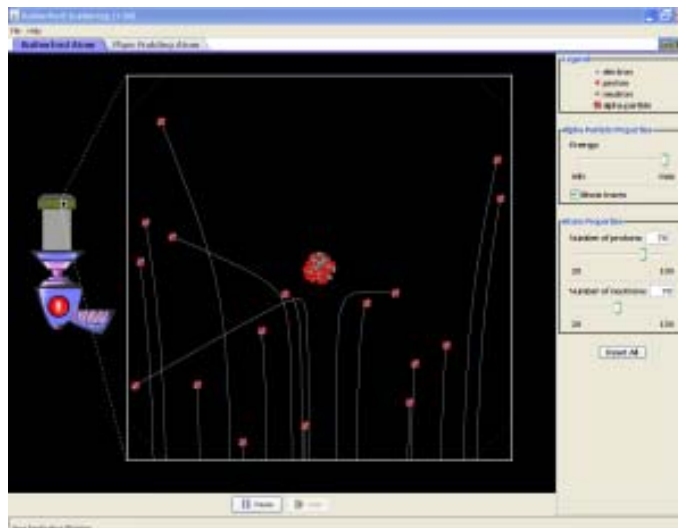


Figura B.3 – Tela ilustrativa da simulação computacional *Rutherford Scattering* referente à Tarefa 10.

A partir do modelo atômico de Thomson, o que Rutherford deveria esperar em relação ao comportamento das partículas alfa ao atingirem a lâmina metálica delgada? Por quê? O que Rutherford observou em vez desse comportamento? Baseado em suas observações, quais as inferências que Rutherford fez sobre a distribuição de carga positiva no átomo?

Classical Solar System para Bohr

Para responder as questões abaixo, abra a simulação *Models of the Hydrogen Atom*. Você deve num primeiro momento familiarizar-se com a simulação. Do que estamos tratando?

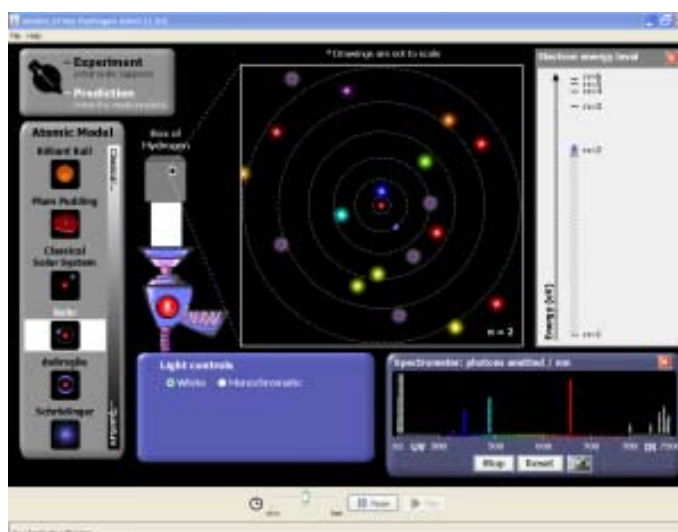


Figura B. 4 – Tela ilustrativa da simulação computacional *Models of the Hidrogen Atom* referente à Tarefa 10.

Que observação você pode fazer sobre a luz detectada pelo espectrômetro no modo *Experiment* que o modelo do sistema solar de Rutherford é incapaz de explicar? Baseado nessa observação, que inferências Bohr fez sobre a natureza dos átomos? Como essa inferência foi capaz de explicar esta observação?

Há também uma outra observação simples que podemos fazer: os átomos são estáveis e não colapsam. Como o modelo de Bohr tratou essa observação?

Explique a relação entre o comportamento do elétron na representação do átomo e o diagrama de nível de energia para o modelo de Bohr. Quando n cresce, os orbitais aproximam-se ou afastam-se? Por quê? Quando n cresce, os níveis de energia aproximam-se ou afastam-se? Por quê?

Bohr para De Broglie

O modelo de *De Broglie* é diferente dos modelos anteriores que nós discutimos visto que ele baseou-se em um argumento teórico mais do que em observações experimentais. (Não há diferença experimental entre o modelo de Bohr e o modelo de *De Broglie*!) Qual foi o problema com o modelo de Bohr que *De Broglie* procurou resolver? Como ele tratou desse problema? Quão diferente é a visão de *De Broglie* do elétron da visão de Bohr? Qual é o propósito das três diferentes visões do elétron de *De Broglie* na simulação *Models of the Hydrogen Atom*? Qual visão você acha mais útil para ajudar você a entender a natureza do elétron nesse modelo? Por quê?

Schrödinger

Descreva o modelo atômico de Schrödinger e discuta como esse modelo tratou das várias inconsistências apresentadas pelos demais.

Explique a relação entre o comportamento do elétron na representação do átomo e o diagrama de nível de energia para o modelo de Schrödinger. Compare e contraste essa explicação com a explicação que você deu para o modelo de Bohr.

Agora configure a simulação *Models of the Hydrogen Atom* no modo *fast* para que você possa obter um padrão no espectrômetro rapidamente. Então, deixe o espectrômetro contar por um minuto e obtenha um instantâneo clicando no botão “câmera” para cada um dos modelos. Compare as leituras do espectrômetro para cada um dos modelos. Explique, baseado nas leituras do espectrômetro, as diferenças entre cada um dos modelos. Qual das leituras do espectrômetro é mais similar à leitura do espectrômetro no modo *Experiment*? Por quê?

Oitava semana

Projeto final

a) Objetivos a serem alcançados pelos alunos

- O aluno deverá progredir na compreensão geral dos diversos aspectos envolvidos no processo de modelagem de fenômenos físicos ao propor o uso de uma estratégia didática para transpor a discussão dos conceitos trabalhados no curso a distância para os estudantes do ensino médio.

b) Apresentação da tarefa

O projeto final foi pensado com o objetivo de que os participantes: a) possam, por si sós, dar-se conta do que realmente aprenderam ao longo do curso; e b) experimentem as dificuldades em preparar uma atividade para o ensino médio que enfatize os aspectos conceituais estudados sobre modelos científicos.

O que não pode deixar de estar presente no projeto?

- Os objetivos da atividade.
- Um roteiro para a atividade que propicie a discussão da maior quantidade possível de aspectos conceituais sobre modelos científicos apresentados no curso, tais como: a) fenômeno de interesse, situação-problema e questões-foco; b) idealizações e aproximações; c) referentes, relações, variáveis e parâmetros; d) análise da razoabilidade dos resultados obtidos com o modelo teórico e/ou computacional; e) domínio de validade e grau de precisão de modelos científicos; e f) expansão e generalização de modelos científicos.
- As referências bibliográficas.

APÊNDICE C

Neste apêndice apresentamos os seis textos que serviram de apoio aos professores de Física durante o curso a distância *Fenômenos físicos e modelos científicos*.

Texto de apoio nº 1

Conhecimento científico: uma construção humana

Como surgiu o Universo? Quem somos, de onde viemos e para onde vamos? Existe vida em outros planetas? À primeira vista, estas questões não parecem estar relacionadas com nossa vida cotidiana. Entretanto, perguntas fundamentais como estas sempre intrigaram a mente humana, algumas mais do que outras, e são objetos de estudo dos mais diversos campos do conhecimento. As fontes que mais se consolidaram na busca por respostas a estes questionamentos fazem parte ou do campo da ciência e tecnologia ou do campo da religião. Se por um lado a religião já possui as respostas que precisa, a ciência continua em busca de teorias que demonstrem ser cada vez mais frutíferas. Uma reflexão mais profunda deveria nos mostrar a existência de conexões, diretas e indiretas, entre conseqüências destes questionamentos e nossas ações sobre o mundo em que vivemos. Contudo, nosso objetivo aqui não é o de traçar paralelos entre ciência e religião. Nosso propósito restringir-se-á a uma análise sobre a natureza e a construção do conhecimento científico. Com isso não se quer dizer que faremos uma abordagem histórica sobre a evolução do pensamento científico, embora possamos nos valer de exemplos históricos para esclarecer aspectos que julgamos relevantes. Na verdade, nossa intenção é discutir alguns fundamentos do conhecimento científico no âmbito dos seus pressupostos filosóficos, dos seus objetivos, do seu universo de discurso, das possíveis abordagens aos fenômenos de interesse, do papel das teorias e dos modelos científicos na sua construção, da formulação de hipóteses em suas previsões, enfim, alguns dos aspectos envolvidos nesta atividade humana. Mais especificamente, estamos interessados em discutir o papel da modelagem científica e a noção de modelo científico. Os modelos podem ser entendidos como os “blocos” fundamentais no processo de construção do conhecimento pela ciência. Aprofundando nossa discussão sobre o processo de modelagem científica, ou seja, de representação esquemática da realidade, passaremos a discutir questões referentes às idealizações, às aproximações e à validação dos modelos científicos.

Antes de iniciar nossa análise sobre a natureza do conhecimento científico, cumpre ressaltar algumas diferenças fundamentais entre ciência básica e ciência aplicada. Não pretendemos separar atividades intimamente relacionadas, mas estabelecer critérios de demarcação explícitos para que não sejam feitas generalizações incorretas. Segundo Bunge (1989), a pesquisa científica, da natureza ou do homem, seja ela básica ou aplicada, consiste num processo de investigação sobre determinado objeto (ou fato) real ou suposto como tal, por exemplo: átomos, moléculas, células, sistemas, processos, máquinas, sociedades, etc. Tanto a ciência básica quanto a ciência aplicada utilizam-se dos mesmos métodos, compartilhando às vezes os mesmos fenômenos de interesse, mas geralmente com problemas e objetivos diversos. Tomemos o exemplo de um físico que estuda os fenômenos de interação da radiação com a matéria, apresentado em seu livro *Ciência e Desenvolvimento* (1989). Em princípio, o foco da pesquisa deste cientista não está voltado para a produção de um equipamento, embora se reconheça que dela possa resultar tal produto (ou algum serviço),

como é o caso de uma técnica inovadora de diagnóstico médico (a tomografia computadorizada, por exemplo). Seu objetivo maior é enriquecer o conhecimento pelo conhecimento. Este cientista produz conhecimento de base, ou seja, ele faz ciência básica. Agora, imagine outro físico que estuda o efeito fotoelétrico em diferentes materiais, utilizando radiação de frequência específica, com a finalidade de compreender melhor o princípio de funcionamento das células fotoelétricas. Este cientista realiza ciência aplicada, seja ela teórica ou experimental, na medida em que utiliza o conhecimento produzido pelo primeiro para a resolução de problemas práticos, e geralmente associados ao desenvolvimento tecnológico. Com isso não se quer dizer que esta atividade limita-se à aplicação de conhecimento, somente que seu foco está na aplicação do conhecimento. Por último, imagine um engenheiro elétrico que estuda células fotoelétricas não só para entender seu funcionamento, mas para empregá-las na fabricação de baterias utilizadas por satélites para o monitoramento de queimadas em florestas. Este pesquisador não produz conhecimento científico, e sim conhecimento técnico. Em suma, enquanto o pesquisador de ciência básica está preocupado em resolver problemas de ordem cognitiva, o pesquisador de ciência aplicada preocupa-se com questões de algum interesse social. Enquanto a ciência, básica ou aplicada, se propõe a descrever, explicar e prever algo sobre a realidade, a tecnologia busca controlar alguns setores do mundo em que vivemos utilizando todo tipo de conhecimento, sobretudo o científico. Entretanto, ambas formulam hipóteses, modelos e teorias procurando verificá-los através de testes empíricos (observações e experimentos) e testes racionais (conceituais).

Uma vez que tenhamos feito esta caracterização, ainda que superficial, podemos iniciar nossa análise sobre a típica atividade científica. Talvez, o questionamento inicial pudesse ser: afinal, por que os cientistas fazem ciência? E uma resposta poderia ser: em primeiro lugar, pela curiosidade em conhecer a realidade da melhor maneira possível; em segundo, por acreditarem na existência de uma realidade objetiva, isto é, uma realidade que existe independentemente da própria existência deles. Entretanto, mesmo que implicitamente, todo cientista deveria reconhecer suas limitações para conhecer esta realidade em sua totalidade. Esta é uma postura filosófica realista, mas não ingênua. Sem a assunção destas hipóteses a investigação científica tornar-se-ia sem sentido. Duas outras perguntas poderiam seguir-se imediatamente à primeira, façamos a segunda: qual o objetivo maior da ciência? Segundo Bunge (1974), o principal objetivo da ciência é apreender a realidade pelo pensamento. É trazê-la para um plano conceitual, ou seja, para um status onde possa ser apreendida não só pelos sentidos, mas pelas ferramentas conceituais (teorias e modelos) de que dispomos para interpretá-la adequadamente. É preciso que enriqueçamos nossa experiência perceptiva com conhecimento teórico no intuito de aprofundar nossa visão sobre o mundo real. Relegando o uso de teorias e modelos não é possível avançar em profundidade somente em superfície na produção do conhecimento. De que forma os cientistas fazem ciência? A ênfase do fazer científico está nas idéias mais do que nos sentidos. Mais explicitamente, as ferramentas conceituais a que me refiro dizem respeito à formulação de hipóteses, leis, teorias e modelos científicos. Esta concepção opõe-se à teoria empirista-indutivista do conhecimento, fortemente criticada por filósofos e historiadores contemporâneos.

Um dos expoentes modernos da concepção empirista-indutivista foi sem dúvida Francis Bacon (1561 – 1626) com sua obra *Novum Organum* (ou Verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza) de 1620. O empirismo-indutivismo é uma postura segundo a qual toda a forma de conhecimento, sem exceção, deriva da observação e da experimentação. Todo tipo de especulação, apriorística ou metafísica, deve ser desprezado. Segundo Bacon, a mente humana deve ser “purificada” de modo a proibir toda e qualquer

atividade especulativa que a conduza por caminhos que não os da experiência. São os dados obtidos por meio de experimentos meticulosamente realizados que fornecem as bases do saber científico. É a partir de observações particulares que enunciados de alto nível (de generalidade) são formulados, isto é, leis, princípios e teoremas são “descobertos”. Com isso, a lógica indutiva torna-se a base do “método” de construção do conhecimento. É com base na indução que enunciados singulares são extrapolados para enunciados universais. Contudo, vejamos o exemplo clássico de Karl Popper (1902 – 1994) que demonstra a insustentabilidade do método indutivo. Não importa quão grande seja o número de cisnes brancos que venhamos a observar, em nenhum momento, com base numa argumentação lógica sustentável, podemos inferir destas observações o enunciado universal de que todos os cisnes existentes na natureza são brancos. Entretanto, a postura empirista-indutivista concede a esta asserção o máximo grau de verdade. A experiência é a única fonte de validação do conhecimento. Mas os problemas não cessam por aí. Neste caso, rigorosamente falando, existem infinitas generalizações possíveis que não esta, por exemplo: 1) todos os cisnes existentes na natureza são ou brancos, ou pretos; 2) todos os cisnes existentes na natureza são ou brancos, ou pretos, ou vermelhos; etc. Mas deixemos de lado as críticas à concepção empirista-indutivista do conhecimento para retomarmos nosso objetivo. Estávamos a questionar sobre o modo como os cientistas fazem ciência.

A construção do conhecimento teórico se constitui por idéias que se vinculam com o auxílio da lógica e que devem, na medida do possível, ser expressas em linguagem matemática. Segundo Bunge (apud. Cupani e Pietrocola, 1999), a Lógica e a Matemática são tidas como ferramentas universais na produção deste conhecimento teórico. E como se constituem estas idéias? Todas as formas de conhecimento, inclusive o produzido pela ciência, baseiam-se na formulação de hipóteses. Nas ciências fatuais (naturais e sociais) as hipóteses são concebidas como conjecturas iniciais a respeito de fatos reais ou supostos como tais. Entretanto, para ser considerada científica, uma hipótese precisa ter coerência (ser logicamente bem formulada), ser precisa e suscetível à comprovação empírica, ainda que não de forma direta. Adicionalmente, é desejável que a hipótese seja compatível com grande parte do conhecimento científico previamente estabelecido. Estes requisitos de cientificidade, embora necessários, de modo algum são suficientes quando alcançados de modo independente. Além disto, neste processo de construção do conhecimento os cientistas utilizam analogias, simulações e representações, porém sempre com o intuito de conceber ou transformar idéias.

Porém o saber científico não para por aí. A formulação de hipóteses é apenas o primeiro passo de uma longa trajetória. A racionalidade da ciência está em produzir sistemas de idéias logicamente organizados, isto é, em formular teorias científicas capazes de produzirem explicações aproximadas de setores específicos da realidade. Não obstante, é preciso que se diga que as explicações fornecidas pelos cientistas estão sempre impregnadas de imperfeições e não passam de representações simbólicas aperfeiçoáveis destinadas a produzir explicações de fatos reais. Tomemos um exemplo conhecido de todos: a Lei da Gravitação Universal. Com base no seu enunciado, Newton foi capaz de explicar o movimento dos planetas do Sistema Solar com grande precisão. Mais tarde, Albert Einstein, ao formular as bases da Teoria Geral da Relatividade (TGR), reescreveu a Lei da Gravitação Universal de maneira mais geral. Isto não significa que a explicação científica de Einstein seja a verdadeira lei universal e que devemos dar este assunto por encerrado, uma vez que, apesar de sua originalidade e fertilidade, a TGR precisa ser aperfeiçoada, por exemplo, tornando-se compatível com a Mecânica Quântica. Além disto é importante salientar que a gênese da TGR estava em um problema teórico que Einstein considerava extremamente relevante: a

equivalência entre a massa inercial (massa referida na Segunda Lei de Newton) e a massa gravitacional (massa referida na Lei da Gravitação Universal de Newton). Esta equivalência não era necessária segundo a Mecânica Clássica e o próprio Newton já havia notado que se tal equivalência fosse verdadeira, ela não seria explicada por sua teoria.

Segundo Bunge (1974), no processo de teorização, que implica sempre numa tentativa de trazer a realidade para um plano conceitual, é possível seguir por um ou outro “caminho teórico”, a saber: **(a)** pode-se desejar construir teorias do tipo representacionais, em que se opta por uma descrição detalhada e profunda de alguns aspectos da realidade, mediante a introdução de variáveis hipotéticas, de modo a explicitar os mecanismos mais internos (não-observáveis) dos sistemas físicos; ou **(b)** pode-se desejar construir teorias do tipo fenomenológicas, onde a escolha é por uma abordagem mais direta, isto é, mais próxima dos dados empíricos e que faz uso somente de variáveis externas (observáveis) do tipo entrada-e-saída (E-S), de modo a descrever o comportamento externo do sistema físico. Para exemplificar as duas abordagens, analisemos algumas teorias da Física: Cinemática, Ótica Geométrica, Termodinâmica, Dinâmica, Ótica Física e Mecânica Estatística. As três primeiras são tipicamente teorias fenomenológicas, enquanto as últimas três são exemplos de teorias representacionais. Tanto a Cinemática quanto a Dinâmica buscam explicações para o movimento dos corpos, isto é, pronunciam-se sobre os mesmos fenômenos de interesse. Enquanto a Cinemática descreve o comportamento do sistema somente com base em variáveis do tipo entrada (tempo) e saída (posição, velocidade e aceleração), a Dinâmica procura inferir sobre as causas do movimento, ou seja, as forças responsáveis pelo estado de variação do movimento. De modo semelhante, tanto a Ótica Geométrica quanto a Ótica Física procuram explicar os mesmos fenômenos luminosos. Enquanto a primeira é conhecida como a teoria dos raios luminosos, a segunda faz suposições acerca da natureza e da estrutura da luz. O mesmo vale para a Termodinâmica e para a Mecânica Estatística. Enquanto a primeira estabelece relações entre variáveis macroscópicas (pressão, volume e temperatura) que descrevem o comportamento global do sistema termodinâmico, a segunda procura fazer inferências sobre o movimento dos constituintes do sistema em nível microscópico. Em suma, em ciência é possível lidar com os mesmos fenômenos de interesse sob diferentes (mas complementares) enfoques, o que nos leva a formular questões-foco inteiramente diversas e, por conseqüência, a produzir diferentes explicações para as mesmas situações-problema.

Considerações Finais

A tentativa de apreender conceitualmente a realidade não é uma função que possa ser atribuída exclusivamente às teorias científicas. Estas, por sua vez, exercem papel fundamental na orientação, na reformulação e na proposição de novos problemas, linhas de pesquisa e campos da ciência, como é o caso de teorias revolucionárias que acabam por reorientar o curso do pensamento científico (Kuhn, 2006). Segundo Bunge (1989), atualmente, os campos da ciência ultrapassam de dois mil. A cada dia surgem novas teorias científicas e com elas a necessidade cada vez maior de unificação. Então, a quem mais se deve atribuir o papel de representar a realidade? Aos modelos científicos. Embora as teorias desempenhem um papel fundamental no contexto científico, por si sós, de nada valem no sentido de que não possuem referentes reais diretos e, por isso, não se aplicam diretamente às coisas do mundo real. No extremo oposto, os dados empíricos apesar de muito próximos da realidade não são passíveis de serem inseridos em sistemas lógicos para gerar conhecimento. Cabe aos modelos mediar a relação entre teoria e realidade. Porém, o termo “modelo” suscita uma variedade de sentidos em ciência devido às diversas acepções a ele atribuídas, o que causa grande confusão até mesmo entre os cientistas. Por isso é preciso explicitar de antemão o que nos vêm à mente

quando pensamos em modelos, e mais precisamente, em modelos científicos. Partiremos de uma concepção demasiada simples que refinaremos na medida em que nosso curso avançar.

Referências

- BACON, F. *Novum organum. Nova Atlântida*. São Paulo: Editora Nova Cultural. 1999. 255 p. (Os pensadores)
- BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, v. 72. 1974. 243 p. (Debates)
- BUNGE, M. **Ciência e desenvolvimento**. São Paulo: Itatiaia Limitada, v. 11. 1989. 136 p. (O homem e a ciência)
- CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. A Relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, número especial, p. 100-125, Jun. 2002.
- KUHN, T. S., **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, v. 115. 2006. 260 p. (Debates)
- POPPER, K. R. **Conjecturas e refutações**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1972. 449 p. (Pensamento Científico)
- SILVEIRA, F. L.; OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, número especial, p. 7-27, Jun. 2002.

Texto de apoio nº 2

Fenômenos físicos e modelos científicos

Quando nos referimos à modelagem científica estamos pensando no processo de criação de modelos científicos com a finalidade de apreender a realidade pelo pensamento. Em outros termos, estamos pensando no processo de reconstrução conceitual da realidade por meio de representações que podem ser tão elaboradas quanto possíveis. Daqui para frente, os termos “modelagem” e “representação” poderão ser entendidos como sinônimos. Iniciaremos com uma idéia simplificada de modelo científico que refinaremos na medida em que nossa discussão evoluir. Nossa estratégia consistirá em dar sentido ao conceito de **modelo científico** a partir de situações que serão problematizadas no contexto das Ciências Naturais em geral e da Física em particular. Segundo Bunge, dentro desse contexto, o termo “modelo” assume dois sentidos principais, a saber: “o modelo enquanto representação esquemática de um objeto concreto e o modelo enquanto teoria relativa a esta idealização” (Bunge, 1974, p. 30).

Nesse sentido, o termo **modelo conceitual** pode ser entendido como uma representação simplificada, idealizada, de um sistema ou fenômeno natural. Vejamos o exemplo abaixo.

Considere a foto de um homem, um manequim de plástico e um macaco. Qual desses modelos é o mais adequado para representar um homem? A resposta é: depende. A foto deve ser um bom modelo para um pintor, pois retrata a fisionomia da pessoa. O manequim é uma representação tridimensional do corpo humano, sendo um bom modelo para um alfaiate. Já o macaco é fisiologicamente semelhante ao ser humano e deve ser o modelo preferido por um biólogo (MONTEIRO, 2006, p. 44).

Este exemplo ilustra uma idéia muito importante quando se trabalha com modelagem: a de que não existem modelos corretos, mas sim adequados. Alguns modelos conceituais são mais adequados do que outros por enfatizarem certos aspectos negligenciados pelos demais. Assim, um modelo científico pode ser entendido como uma representação simplificada, idealizada, de um sistema ou fenômeno natural, aceita pela comunidade científica.

Por “representação simplificada” queremos dizer que os modelos científicos não são, e jamais serão, uma descrição especular (exata) da natureza. Isso ocorre pelo simples fato de que o homem é limitado para descrever a realidade em sua totalidade. Embora a modelagem seja uma ferramenta essencial para dar sentido ao mundo em que vivemos, somos incapazes de abordar a realidade de maneira holística, com toda sua riqueza e complexidade. Mas não devemos desesperar. “A conquista conceitual da realidade começa, o que pode parecer paradoxal, por idealizações” (Bunge, 1974, p. 13).

Por “aceita pela comunidade científica” queremos dizer que os modelos científicos devem ser comunicáveis e consensuais. Todo modelo científico deve ser formulado com clareza e precisão a fim de que sua adequação aos fatos possa ser criticada, estimada e verificada. A importância da criticabilidade e do consenso na construção e análise de modelos científicos evidencia outro aspecto importante da atividade científica: o trabalho colaborativo. “Ainda que alguns progressos sejam decorrentes da inspiração, e muito esforço, de algum cientista em particular, o saber científico é uma construção eminentemente coletiva, onde aquilo que é definido como “conhecimento científico” tende a ser duradouro, apesar de inevitavelmente evoluir ao longo do tempo” (Veit e Araújo, 2004).

No processo de modelagem o cientista é “livre” para decidir o que considera ser essencial e para ignorar o que lhe parece irrelevante na descrição dos fatos. Este processo em nada difere da atividade de um artista plástico que pretende esculpir uma estátua ou de um pintor que deseja representar os traços marcantes de uma criatura. Entretanto, a criação de modelos conceituais pressupõe a existência de objetivos realísticos. Com isso não se quer dizer que o modelo em si não possa carecer de fundamento na realidade. Vejamos o modelo geocêntrico de Ptolomeu para o movimento dos planetas que perdurou por mais de 13 séculos. Com o passar dos anos as observações astronômicas tornaram-se cada vez mais precisas. Ptolomeu, a fim de não abandonar sua hipótese inicial de que os planetas moviam-se em circunferências, precisou aperfeiçoar (complicar) seu modelo para adequá-lo aos dados observacionais. A “versão” mais completa e eficiente do modelo geocêntrico era capaz de prever razoavelmente bem a posição dos planetas através de uma intrincada combinação de círculos (epíclis e deferentes) que foram sendo incorporados ao movimento de cada um dos planetas (Oliveira e Saraiva, 1997). Hoje sabemos que o modelo geocêntrico estava alicerçado em hipóteses não condizentes com a realidade, embora tivesse sucesso na predição dos fatos.

Em Física, ainda que não representem exatamente a realidade, modelos científicos consistem de proposições semânticas, de representações externas (como gráficos, tabelas, diagramas, etc.) e de modelos matemáticos que são formulados com o intuito de descrever e prever o comportamento de sistemas e fenômenos no mundo real. Um modelo matemático é um tipo de representação simbólica que faz uso de entes matemáticos como matrizes, funções, operadores, etc. Em Ciências, de grande interesse são os modelos matemáticos que representam sistemas dinâmicos. Um modelo de sistema dinâmico pode ser entendido como um conjunto de relações matemáticas entre as grandezas que descrevem o sistema e o tempo, considerado como variável independente. Como exemplo, considere uma quantidade de

determinada espécie de bactérias. Imagine que estejamos interessados em determinar o tempo em que esta população de bactérias duplica. O modelo de Malthus (1766 – 1834), que descreve o comportamento de uma população de indivíduos distribuídos uniformemente numa dada região do espaço, relacionando a variação no tempo do número de indivíduos num certo instante t com as taxas de nascimento e morte, fornece uma resposta “aproximada” para a dinâmica deste sistema. Entretanto, a descrição e a predição do comportamento de sistemas existentes na natureza são apenas duas razões pelas quais construímos modelos de sistemas dinâmicos. Monteiro (2006) nos chama atenção para a criação de modelos que simulam sistemas dinâmicos que ainda não existem na realidade. Pode ser que a construção de tais sistemas demande tempo e exija alto investimento. Pode ser ainda perigoso, ou mesmo inviável, estudar determinados sistemas. Vejamos dois exemplos que justificam a construção de modelos para a análise de fenômenos físicos. Considere o lançamento de um ônibus espacial. Diferentemente de um motor convencional, que realiza combustão com oxigênio da atmosfera, o ônibus espacial carrega seu próprio combustível (hidrogênio e oxigênio). Quando em órbita de baixa altitude (entre 300 e 530 km acima da superfície terrestre), o ônibus precisa corrigir constantemente sua trajetória devido às deformações do campo gravitacional da Terra, gastando combustível. Se o nosso planeta fosse uma esfera rígida e homogênea, qualquer objeto colocado em órbita poderia permanecer indefinidamente em movimento circular uniforme sem gastar energia. Tal não é o caso do ônibus espacial. Com isso, torna-se importante elaborar um modelo que prediga a quantidade de combustível a ser consumida pelo ônibus, levando-se em conta fatores como as imperfeições do campo gravitacional terrestre, tempo de viagem, altitude da órbita, ponto de lançamento, etc. Como segundo exemplo, considere o sistema cardiovascular humano. A construção de modelos hemodinâmicos tem ajudado na busca por respostas à dinâmica do escoamento sanguíneo em um sistema arterial personalizado, isto é, modelos matemáticos que fornecem detalhes como vórtices e refluxos em seções arteriais com desvios patológicos do sistema cardiovascular de um indivíduo em particular. Estes dois exemplos demonstram a amplitude e a importância do processo de modelagem nas Ciências Naturais.

Voltemos ao processo de construção e análise de modelos científicos. Quão bem um modelo científico descreve e/ou prediz o comportamento de determinado fenômeno físico? A adequação aos fatos depende fundamentalmente das hipóteses em que o modelo se baseia, que perguntas pretende responder e da precisão de suas predições. O processo de modelagem científica é, antes de tudo, um processo de busca por respostas. Assim, os cientistas produzem conhecimento científico formulando questões claras e imaginando modelos conceituais das coisas (Bunge, 1974). Para isso, elaboram hipóteses sobre a estrutura ou o comportamento do sistema a partir das quais procuram explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades do sistema. A proposição destas hipóteses não é trivial. Ela depende fortemente das idiosincrasias (habilidades e preferências intelectuais) do cientista e da quantidade de informações disponíveis sobre os fatos reais ou supostos como tais. Vejamos dois exemplos sobre a formulação de hipóteses. Imagine que desejamos modelar o comportamento de um computador digital. Mais especificamente, que estejamos interessados nos instantes em que sua memória pode ser lida. Nesse caso, o modelo poderá ser construído de forma que o tempo evolua discretamente. Porém, se estivermos interessados em determinar o fluxo de calor ao longo de uma barra metálica, possivelmente faremos o tempo evoluir continuamente. Embora saibamos que o tempo (real) evolui continuamente, muitas vezes somos levados a considerá-lo como discreto. Este é um tipo de idealização que incorporamos aos modelos.

Entretanto, um modelo conceitual para frutificar precisa ser encaixado numa **teoria geral** capaz de tratá-lo adequadamente. Por “tratá-lo adequadamente” queremos dizer que o

fenômeno físico idealizado (modelo conceitual) precisa ser traduzido em linguagem matemática, constituindo-se em uma **teoria específica (ou modelo teórico)** capaz de fazer previsões e ser confrontada com os fatos. Tomemos o exemplo da Teoria Cinética dos Gases. Esta teoria específica resulta da inserção de um modelo (conceitual) de gás ideal, ou seja, de um conjunto de hipóteses sobre a composição da matéria no estado gasoso, dentro da Mecânica Estatística Clássica, uma teoria geral que não se pronuncia sobre a natureza dos elementos que constituem o sistema envolvido. A partir dessa inserção é possível deduzir uma série de resultados, entre eles: a equação de estado e as distribuições de velocidades das moléculas que constituem um gás ideal. Além disso, a Teoria Cinética dos Gases pode estimar valores para os calores específicos de alguns gases reais, o que a torna passível de comprovação empírica. Em suma, o processo de modelagem reside no fato de que teorias gerais, que em princípio não se pronunciam diretamente sobre a realidade, ao serem enxertadas por modelos conceituais produzem representações de parte da realidade, isto é, teorias específicas que fornecem soluções a situações-problema particulares. A tabela 1 ilustra alguns exemplos de modelagem de que se valem as ciências da natureza.

Tabela 1. Alguns exemplos de situações modeladas nas ciências da natureza.

Objeto (ou fato) Concreto	Modelo Conceitual	Teoria geral	Teoria Específica (ou Modelo Teórico)
Lua	Sólido esférico girando em torno de seu eixo, à volta de um ponto fixo	Mecânica Clássica e Teoria da Gravitação	Teoria Lunar
Lançamento de moeda	Moeda ideal (= cara, coroa)	Teoria das Probabilidades	Teoria das Sequências de Bernoulli
Cristal	Grade mais nuvem de elétrons	Mecânica Quântica	Teoria de Bloch
Canto das cigarras	Coleção de osciladores acoplados	Mecânica Estatística	Mecânica Estatística de osciladores acoplados

Uma vez que tenhamos construído um modelo teórico sobre determinado sistema ou fenômeno físico, é preciso avançar em sua análise. Ou seja, é preciso interpretar os resultados (teóricos) produzidos pelo modelo à luz das teorias (gerais) científicas disponíveis. Esta etapa de validação dos resultados envolve uma análise da influência de todos os fatores (parâmetros e condições iniciais) que interferem ou poderão vir a interferir no comportamento do sistema representado pelo modelo teórico. Dependendo dos resultados obtidos pelo modelo será necessário seguir adiante. Ou seja, em geral, o que se procura fazer é aperfeiçoar os modelos teóricos de modo que seus resultados descrevam cada vez melhor a realidade. A confrontação entre modelo e realidade é feita através da comparação dos resultados teóricos com os dados experimentais. Na prática, os cientistas não seguem exatamente uma seqüência linear (construção, análise e aperfeiçoamento) quando resolvem construir um modelo científico para dar conta de alguma situação-problema, isto é, para encontrar respostas (explicações

científicas) para as perguntas (questões-foco) que formulam. Da forma como está sendo apresentada, esta seqüência de etapas possui apenas valor didático. Não deve ser entendida como receita para a construção de modelos científicos.

Considerações Finais

A criação de um modelo conceitual inicia com a demarcação do sistema a ser estudado. É preciso que delimitemos com clareza o que realmente constituir-se-á nosso objeto de estudo. Em outros termos, é preciso que façamos um recorte da realidade a fim de que possamos explicar alguns de seus aspectos. Com isso não se quer dizer que os modelos científicos não possam dar conta de sistemas ou fenômenos inteiramente diversos do que se propuseram inicialmente. Tal é o caso do modelo planetário utilizado por Rutherford para explicar a estrutura interna do átomo. Agora, imagine que estejamos interessados no movimento de translação da Terra ao redor do Sol. E logo deverão surgir questões do tipo: que objetos farão parte do sistema? Quais são os agentes externos? Em suma, quão complicado deverá ser o modelo conceitual para descrever e predizer o movimento da Terra ao redor do Sol? As respostas a estes questionamentos passam necessariamente pelas idealizações (e aproximações) que serão feitas a respeito do sistema real. De modo geral, segundo Monteiro (2006), as aproximações que os cientistas costumam fazer ao tratar de fenômenos físicos podem ser resumidas em: **(a)** acabam por desprezar os efeitos que são pequenos se comparados com a precisão que desejam; **(b)** consideram, sempre que possível, somente parâmetros que não variam no tempo e no espaço; **(c)** sempre que duvidam do tipo de relação entre duas grandezas, fazem aproximações do tipo linear; e **(d)** consideram que todos os processos envolvidos no sistema são deterministas, desprezando os de natureza aleatória.

Por último, os cientistas devem ser capazes de estabelecer relações matemáticas para o sistema previamente idealizado, isto é, traduzir suas proposições semânticas em linguagem matemática. Somente assim os modelos tornar-se-ão capazes de previsões. Segundo Bunge, os teóricos fazem isto mediante a adoção de um formalismo matemático estabelecido pela teoria científica capaz de abarcar o modelo conceitual (sistema idealizado) em questão. É enxertando o modelo conceitual em uma teoria geral que estabeleceremos uma rede de relações dedutivas ao redor do mesmo. Uma vez que tenhamos construído um modelo conceitual do sistema físico, e mais, que tenhamos estabelecido algumas relações matemáticas e imposto alguns princípios para o mesmo, devemos comparar seus resultados (teóricos) com os dados experimentais obtidos do sistema real. Conseqüentemente, há duas possibilidades para o modelo: ou ele aproxima-se com a precisão esperada dos dados empíricos ou não. Contudo, tanto os resultados teóricos quanto os dados empíricos possuem erros inerentes que decorrem não só das idealizações consideradas pelo modelo conceitual quanto dos pressupostos teóricos subjacentes à elaboração dos experimentos, bem como da precisão dos instrumentos de medida. Então, porque comparamos os resultados obtidos a partir de modelos teóricos com os dados experimentais? A resposta fornecida por Bunge é bastante simples e ao mesmo tempo intrigante:

Converter coisas concretas em imagens conceituais...cada vez mais ricas e expandi-las em modelos teóricos progressivamente complexos e cada vez mais fiéis aos fatos, é o único método efetivo para apreender a realidade pelo pensamento. É o método inaugurado por Arquimedes em física e que em nossos dias triunfa por toda parte onde é testado, mesmo nas ciências do homem. A observação é apenas uma fonte (não a única) de problemas e um teste (não o único tampouco) de nossos modelos teóricos. A intuição – ou melhor, os diversos tipos de intuição – é uma fonte de idéias que devem ser formuladas explicitamente e submetidas à crítica da

razão e dos fatos para serem fecundadas. A razão, enfim, é o instrumento que nos permite construir sistemas com a pobre matéria-prima dos sentidos e da intuição. Nenhuma destas componentes do trabalho científico – observação e intuição e razão – pode, por si só, nos dar a conhecer o real. Elas não passam de aspectos diversos da atividade típica da pesquisa científica contemporânea: a construção de modelos teóricos e sua comprovação (Bunge, 1974, p. 30).

Referências

- BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, v. 72. 1974. 243 p. (Debates)
- HALLOUN, I. A. **Modelling theory in science education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. 250 p.
- MONTEIRO, L. H. A., **Sistemas dinâmicos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2ª Edição, 2006. 625 p.
- OLIVEIRA, K. S. F.; SARAIVA, M. F. O. **Fundamentos de Astronomia e Astrofísica**. Departamento de Astronomia do IF-UFRGS, 1997. 201 p.
- PIETROCOLA, M. Construção e Realidade: O Realismo Científico de Mario Bunge e o Ensino de Ciências através de Modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, paginação eletrônica, Dez. 1999.
- VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Modelagem computacional no ensino de Física. **Educação**, v. 13, n. 21, p. 51-70, 2004.

Textos de apoio nº 3

Idealizando a realidade

Para compreender o papel das teorias e dos modelos na construção do conhecimento científico é preciso entender quais os objetivos da Ciência. Na visão de Bunge (1974), a produção de conhecimento teórico deve propiciar ao homem, enquanto atividade de investigação, uma compreensão cada vez mais profunda do mundo em que vive. Este processo de apreensão da realidade através do pensamento tem início com as idealizações do mundo real ou suposto como tal. Idealizamos o mundo em que vivemos pelo simples fato de que somos incapazes de reconstruí-lo teoricamente da forma como ele se apresenta. No contexto da Física, as idealizações podem ser entendidas como o ponto de partida para a construção de teorias e modelos físicos que descrevem a realidade, com toda sua complexidade, de forma aproximada. Vejamos alguns exemplos.

Suponha que estamos interessados em analisar a estabilidade do Sistema Solar, em particular do sistema Sol-Terra-Lua. Sabemos que o Sol possui uma massa cerca de 300.000 vezes maior do que a da Terra e que a distância Sol-Lua é aproximadamente 400 vezes maior do que a distância Terra-Lua (Silveira, 2000). A primeira idealização deste sistema aparece implicitamente na própria formulação do problema. Na medida em que focamos a estabilidade do sistema Sol-Terra-Lua, estamos desconsiderando a atração gravitacional entre cada um destes corpos e o restante do Universo. Com isso, ao considerarmos somente a atração mútua entre Sol, Terra e Lua, estamos realizando um “recorte da realidade” a fim de delimitarmos nosso objeto de estudo. Os cientistas fazem isso a todo instante porque são incapazes de fornecerem respostas para o todo. Além disso, para que possamos avaliar a estabilidade deste sistema simplificado é preciso adotar um referencial adequado. E o fazemos fixando o Sol na

origem do sistema de coordenadas, visto que os três corpos podem ser considerados como partículas pontuais e que $M_{Sol} \gg (M_{Terra} + M_{Lua})$. Esta aproximação implica no fato de que as acelerações produzidas pela Terra e pela Lua sobre o Sol são desprezíveis se comparadas às acelerações produzidas por este último sobre as primeiras. Para os nossos objetivos, o Sol pode ser considerado um referencial inercial em relação ao qual Terra e Lua estão aceleradas. Outra aproximação importante é a seguinte: como a dimensão do sistema Terra-Lua (distância entre elas) é muito menor do que sua distância ao Sol, as forças gravitacionais que atuam sobre a Terra e a Lua, devido à presença do Sol, são praticamente as mesmas, tanto em intensidade quanto em orientação. Assim, o sistema Terra-Lua permanece inalterado, o que equivale a considerar o campo gravitacional criado pelo Sol como uniforme. Resumindo, tanto a Terra quanto a Lua estão submetidas à mesma aceleração (em intensidade e orientação). Conseqüentemente, o movimento relativo do sistema Terra-Lua praticamente independe da influência do Sol, dependendo apenas das forças internas deste sistema.

Entretanto, o processo de idealização não se restringe somente às simplificações de informações. Idealizar também é reunir fenômenos diferentes com a finalidade de conceber um como caso limite do outro (Lombardi, 1999). Vejamos o exemplo de um corpo em queda livre. Este problema pode ser entendido como o caso limite de outro completamente diferente: o movimento do corpo num plano inclinado de um ângulo θ em relação a horizontal. Para o caso limite em que $\theta = 90^\circ$ obtemos o movimento de queda livre. Mas idealizar também é postular a existência de entidades ideais, geralmente de natureza matemática ou geométrica, tais como partículas pontuais, planos infinitos, corpos rígidos, etc, a fim de facilitar a abordagem do sistema em questão. Vejamos um exemplo nesse sentido. Suponha que estamos interessados em analisar o comportamento de uma rede elétrica residencial ou comercial. Circuitos de instalações elétricas residenciais e comerciais são percorridos por correntes elétricas alternadas que oscilam com frequência de 60 Hz (aqui no Brasil). Isso quer dizer que o sentido da corrente elétrica se inverte 120 vezes a cada segundo nestes circuitos. Entretanto, dependendo do tipo de análise que estamos interessados, circuitos de correntes alternadas podem ser considerados como sendo percorridos por correntes contínuas. Este artifício é utilizado para facilitar o tratamento matemático. Nesses casos, a intensidade da corrente elétrica é considerada eficaz (Gaspar, 2000). A intensidade de uma corrente elétrica eficaz pode ser entendida como a intensidade de uma corrente elétrica contínua que realiza o mesmo trabalho da corrente elétrica alternada. Além disso, outras idealizações podem ser feitas, tais como: desprezar, sempre que possível, a resistência elétrica dos fios pelos quais circula a corrente elétrica e considerar os medidores elétricos (amperímetros e voltmíetros) como ideais, ou seja, como instrumentos de medida que não interferem na passagem de corrente elétrica ao longo do circuito.

Por fim, idealizar também é inferir mecanismos hipotéticos para descrever o comportamento interno de sistemas que não se deixam ver no seu íntimo. Com isso não se quer dizer que o fazemos somente no caso de sistemas microscópicos. Pense nas inferências que são feitas para explicar o comportamento e/ou a estrutura interna de uma estrela como o Sol, por exemplo. Contudo, suponha que estamos interessados em descrever o comportamento do ar no interior de um recinto. Ao tratar este problema de forma simplificada supomos hipóteses tais como: o ar é um sistema formado por um grande número de partículas consideradas como esferas rígidas em movimento contínuo e desordenado; o tamanho (volume) destas esferas é desprezível em comparação com a distância média entre elas; as partículas não interagem entre si, exceto quando colidem de modo perfeitamente elástico; e seus movimentos obedecem as Leis de Newton. Entretanto, sabemos que o ar não é constituído da forma como descrito acima. Tal sistema é o resultado de uma série de

idealizações que os cientistas estabelecem como ponto de partida para a descrição de propriedades características dos gases como pressão, temperatura e volume.

Por fim, devemos ressaltar dois aspectos importantes quando se pensa em idealizações no âmbito das Ciências Físicas em geral e da Física em particular: **(a)** as idealizações feitas pelos cientistas dependem fundamentalmente das questões que procuram responder, isto é, os cientistas podem considerar diferentes aspectos como relevantes ao abordarem um fenômeno físico; e **(b)** embora sejam produtos da mente humana (invenções) possuem objetivos realísticos.

Considerações Finais

Em suma, a reconstrução conceitual da realidade tem início com as idealizações. Nesse processo os cientistas são levados a realizar operações conceituais que podemos sintetizar em (Lombardi, 1999): realização de recortes da realidade pela incapacidade de tratar o todo; identificação de semelhanças entre fenômenos distintos no intuito de estabelecer conexões; invenção de entidades ideais para facilitar o tratamento do sistema analisado; e inferência de mecanismos hipotéticos para descrever o comportamento de sistemas inacessíveis. Porém, sem nunca perder o foco, a saber: formular modelos e teorias científicas capazes de responder questões claras e objetivas que lhes permitam aprofundar seu conhecimento sobre a realidade.

Referências

- BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, v. 72. 1974. 243 p. (Debates)
- LOMBARDI, O. La noción de modelo en ciencias. **Educación en Ciencias**, v. 2, n. 4, p. 5-13, 1999.
- SILVEIRA, F. L. Questão discursiva número 4 do Prova – 2000 do MEC para a licenciatura em Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 229-234, Ago, 2000.
- GASPAR, A. **Física: Eletromagnetismo e Física Moderna**. São Paulo: Ática, v. 3. 2000. 448 p.

Texto de apoio nº 4

O papel mediador dos modelos científicos: identificando referentes, relações, variáveis e parâmetros

No âmbito das Ciências Físicas as teorias gerais embora possuam compromisso com a realidade não se pronunciam diretamente sobre os fatos. Teorias científicas gerais como a Mecânica Clássica, a Mecânica Quântica e a Relatividade não resolvem problemas particulares porque são incapazes de abordar diretamente o mundo real com toda sua riqueza e complexidade. Por outro lado, dados empíricos, ainda que organizados em forma de tabelas e gráficos, embora muito próximos da realidade, não são passíveis de serem inseridos em teorias gerais a fim de fornecerem explicações e previsões para situações específicas. Assim, de modo a aproximar teoria e realidade, os cientistas constroem modelos científicos ao representarem de forma idealizada sistemas ou fenômenos físicos de interesse. A adequação dos modelos científicos aos fatos depende basicamente de três fatores: das perguntas que se quer responder, da quantidade de informações disponíveis e das idealizações que são tomadas

com respeito ao sistema ou fenômeno físico avaliado. Por sua vez, estes fatores são determinantes para a escolha dos referentes, das relações, das variáveis e dos parâmetros que constituirão o modelo científico capaz de representar, com boa aproximação, o sistema ou fenômeno real. A seguir discutiremos cada um destes conceitos no contexto da Física.

Um modelo científico é um sistema conceitual constituído de elementos que o caracterizam e o diferenciam de outros modelos científicos (Halloun, 2004). Dentre os elementos essenciais para construir um modelo científico estão os seus referentes. Os referentes nada mais são do que os objetos ou eventos reais ou supostos como tais que se pretende modelar e os agentes que interagem com o sistema físico. Vejamos uma típica situação de laboratório didático de eletricidade. Imagine que estamos interessados em analisar de um ponto de vista microscópico o comportamento dinâmico de uma esfera metálica (como a de um gerador de Van der Graff, por exemplo) carregada negativamente, apoiada num suporte de plástico (isolante), quando se estabelece contato elétrico entre a esfera e a Terra através de um fio de cobre (condutor). Quais os referentes que devemos considerar ao estudar esta situação? E a resposta poderia ser: a esfera metálica incluindo os portadores de carga, o suporte de plástico, o fio de cobre e a Terra. Um modelo capaz de fornecer uma explicação para esta situação-problema considera os metais como sendo constituídos de átomos que possuem alguns elétrons fora de sua última camada cheia e, portanto, fracamente ligados ao núcleo atômico. Assim, devido a sua mobilidade nos metais, são os elétrons “livres” os portadores de carga (negativa). Estabelecido o contato elétrico, a esfera metálica inicia seu processo de descarga através do condutor visto que os elétrons “livres” afastar-se-ão uns dos outros buscando uma nova configuração de estabilidade. Nesta situação, a Terra pode ser entendida como um reservatório infinito (idealização) de cargas elétricas negativas. Entretanto, na medida em que somos levados a considerar a perda de cargas da esfera para o meio, parece razoável incluir este último como referente do modelo. Esta tomada de decisão passa pela quantidade de informações disponíveis sobre o sistema, como, por exemplo, a condutividade elétrica do meio e pela precisão desejada (relacionada aos objetivos do estudo).

Mas um modelo científico não se constrói apenas definindo os seus referentes. É preciso elaborar um modelo conceitual e inseri-lo numa estrutura logicamente ordenada capaz de gerar explicações e fazer previsões. Uma vez construído este esquema conceitual, é preciso estabelecer relações matemáticas e/ou proposicionais (como “quanto maior isso...menor aquilo”) envolvendo as variáveis e os parâmetros que representam os estados e as propriedades dos referentes do modelo. Estas relações são obtidas a partir de leis, princípios e pressupostos teóricos que deverão ser respeitados pelo sistema idealizado. Vejamos a seguinte situação-problema: análise da variação temporal da posição de um bloco que descreve um movimento de vai-e-vem sobre uma mesa horizontal preso a uma mola. Nesse caso, os referentes passam a ser: o bloco, a mola, a mesa e a Terra.



Figura 1. Um bloco massivo preso a uma mola, realiza um movimento de vai-e-vem, sobre uma mesa horizontal. A mola está fixa na sua extremidade esquerda.

O modelo comumente usado para descrever a situação acima é o do oscilador harmônico simples (OHS). Um exemplo de OHS é o sistema ideal no qual um ponto material de massa m oscila em torno de uma posição de equilíbrio, preso a uma mola de constante elástica k , sob ação de uma força (restauradora) proporcional ao seu deslocamento Δx desta posição de equilíbrio. De modo a facilitar o tratamento matemático, é comum fazer coincidir a posição de equilíbrio do sistema com a origem do sistema de coordenadas, tomado como um eixo orientado para a direita, em relação ao qual o ponto material varia a sua posição. Além disso, a mola não possui massa e não existe atrito entre o bloco e a mesa. Com base nestas idealizações, temos que, do ponto de vista das variáveis cinemáticas:

$$v_x = \frac{dx}{dt}$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

E, aplicando a segunda Lei de Newton ao sistema massa-mola, tem-se que:

$$F_x = ma_x = m \frac{d^2x}{dt^2},$$

onde

$$F_x = -kx$$

Logo, das equações acima, resulta que:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

A solução desta última equação descreve como a posição x do ponto material depende do tempo t de modo que a equação acima seja verdadeira:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \delta),$$

onde A é a amplitude do movimento, ω é a frequência angular e δ é o ângulo de fase associado à elongação inicial. Entretanto, se estivermos interessados em analisar o comportamento do sistema de um ponto de vista energético devemos lançar mão de outros princípios e, por consequência, de novas relações. Como somente forças conservativas atuam sobre o sistema, sua energia mecânica deve obedecer ao princípio geral da conservação de energia, de modo que:

$$E_T = E_C + E_P = cte,$$

onde E_T representa a energia mecânica do sistema, E_C representa sua energia cinética e E_P representa sua energia potencial (elástica + gravitacional). Por último, deve-se ressaltar a diferença fundamental entre variáveis (x e t) e parâmetros (m , k , ω e δ) nas relações que representam o sistema massa-mola. Vejamos outro exemplo com esta finalidade.

Considere um relógio pendular (do tipo “cuco”) preso a uma parede. Grosso modo, este sistema funciona devido à força peso que age sobre um corpo massivo suspenso por um cordão enrolado num carretel que gira à medida que o corpo desce e, através de um conjunto de engrenagens, também faz girar um roda dentada. Acoplados à roda dentada estão os eixos dos ponteiros do relógio. Idealizado, este sistema pode ser representado pelo modelo do pêndulo simples no qual uma massa pontual m suspensa por um fio inextensível e sem massa de comprimento l oscila em torno de uma posição de equilíbrio. O fio está preso num suporte por um ponto fixo e a massa descreve um arco de circunferência cujo centro coincide com este ponto. O ângulo θ , medido a partir da vertical, e com sentido positivo orientado no sentido anti-horário, define a posição da massa no plano.

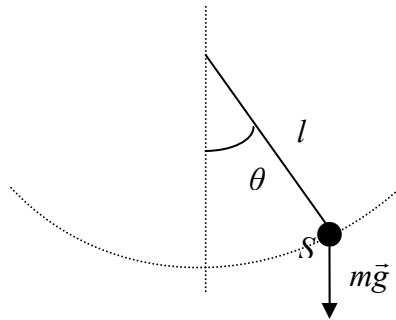


Figura 2. O modelo do pêndulo simples.

Logo, a força (restauradora) responsável pelo movimento de oscilação do pêndulo em torno da sua posição de equilíbrio é tangencial à trajetória da massa pontual e pode ser escrita como:

$$F_t = -mg \operatorname{sen} \theta$$

Se o fio for inextensível, a expressão para a aceleração tangencial é dada por:

$$a_t = \frac{d^2 S}{dt^2} = l \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

E, aplicando a segunda Lei de Newton a este sistema, tem-se que:

$$F_t = ma_t = m \frac{d^2 S}{dt^2} = ml \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -mg \operatorname{sen} \theta$$

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \operatorname{sen} \theta = 0$$

onde θ representa o deslocamento angular do pêndulo em relação ao eixo vertical que passa pelo ponto de sustentação. Esta última equação descreve o movimento oscilatório do pêndulo. Analisemos, agora, as grandezas físicas que aparecem nesta equação: **a)** o tempo t que pode evoluir livremente na medida em que não temos controle sobre sua taxa de variação; **b)** o ângulo θ que varia em função do tempo; e **c)** o comprimento l do fio e o módulo da aceleração da gravidade g que influenciam o comportamento do sistema, mas seus valores não variam durante as oscilações do pêndulo. A diferença entre estas quatro grandezas físicas é clara: enquanto as duas primeiras têm seus valores alterados, as duas últimas permanecem constantes ao longo do movimento. Assim, denominamos t e θ de variáveis e l e g de parâmetros. Quanto às variáveis, podemos tê-las variando de modo independente ou dependente (de outra variável). Quanto aos parâmetros, podemos tê-los fixos ou variáveis no tempo. Em sistemas reais, os parâmetros freqüentemente variam com o tempo: o comprimento do fio de um relógio pendular aumenta lentamente com o passar dos anos. O módulo da aceleração da gravidade pode variar de um ponto a outro, ao longo do movimento do pêndulo, pelo fato de que a Terra não é um corpo perfeitamente esférico nem homogêneo. Além disso, g variaria com a altura enquanto a massa do pêndulo oscila, mesmo que a Terra fosse homogênea. Contudo, estes efeitos podem ser considerados desprezíveis para os nossos objetivos. “Normalmente, tomam-se, como parâmetros, aquelas grandezas que variam lentamente, em comparação com grandezas que têm uma variação rápida” (Monteiro, 2006, p. 49). Por fim, imagine que desejamos tornar o modelo do pêndulo simples mais adequado aos fatos e que, para tanto, passemos a considerar a força de resistência do ar que atua sobre a massa pontual. Nesse caso, devemos acrescentar mais um termo na força tangencial que atua sobre a massa pontual a fim de representar a força de resistência do ar (proporcional à velocidade) que atua sobre a massa pontual. Logo, a segunda Lei de Newton aplicada ao sistema pode ser dada por:

$$F_t = ma_t = m \frac{d^2 S}{dt^2} = ml \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -mg \sin \theta - kl \frac{d\theta}{dt}$$

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \left(\frac{k}{m} \right) \frac{d\theta}{dt} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0$$

onde, como anteriormente, θ representa o deslocamento angular, g representa o módulo da aceleração da gravidade, l representa o comprimento do fio e k é a constante de amortecimento que depende das características do meio. Com isso, a tendência é que surjam novos parâmetros, antes não considerados, na medida em que os modelos são expandidos (refinados).

Considerações Finais

Na medida em que as teorias gerais são incapazes de abordar a realidade de maneira holística e que, na outra extremidade, os dados empíricos não podem ser inseridos em teorias abstratas para resolverem problemas específicos, os modelos científicos surgem como alternativa para os cientistas aproximarem dois aspectos inicialmente não relacionados: teoria e realidade. Nesse processo de construção de modelos científicos, os cientistas delimitam seu objeto de estudo estabelecendo referentes e relações matemáticas (e/ou proposicionais) entre variáveis e parâmetros relevantes que representam de forma aproximada o sistema ou o fenômeno físico de interesse, porém, sempre de acordo com: **a)** as perguntas que formulam; **b)** a quantidade de informações que dispõem sobre a realidade e **c)** as idealizações feitas sobre o sistema ou fenômeno físico em questão.

Referências

- BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, v. 72. 1974. 243 p. (Debates)
- HALLOUN, I. A. **Modelling theory in science education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. 250 p.
- MONTEIRO, L. H. A., **Sistemas dinâmicos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2ª Edição, 2006. 625 p.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Mecânica**. Vol. 1. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda. 4ª Edição, 2002. 328 p.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Fluidos, oscilações e ondas e calor**. Vol. 2. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda. 4ª Edição, 2002. 314 p.

Texto de apoio nº 5

Confrontando teoria e realidade: a adequação dos resultados teóricos de modelos científicos aos dados empíricos

Já vimos que teorias científicas gerais não se relacionam intimamente com a realidade. Logo, não podem ser confrontadas diretamente com os fatos e, por conseqüência, são incapazes de serem comprovadas. Quanto mais gerais forem as teorias científicas, menos aptidões terão para resolver problemas particulares, isto é, que se referem a situações-problema específicas. Contudo, nas Ciências Fatauais, as teorias científicas possuem objetivos realísticos: procuram fornecer as bases para explicações e predições de aspectos da realidade,

se possível, testáveis. A verificabilidade de uma teoria geral depende, pois, da construção de modelos conceituais que inseridos na teoria geral possam se constituir em modelos teóricos (ou teorias específicas) capazes de serem confrontados com os fatos e propiciarem explicações e predições para o comportamento de sistemas ou fenômenos físicos de interesse. Assim, no caso da Mecânica Clássica, se quisermos analisar o movimento de um carro de Fórmula 1, por exemplo, teremos de especificar que forças atuam no carro, sua massa e as condições iniciais e de contorno, ou seja, devemos enriquecer a teoria geral com um modelo específico do sistema físico. Em suma, teorias gerais só podem sofrer corroborações empíricas a partir de modelos teóricos. A figura abaixo ilustra de forma esquemática o que foi dito acima.

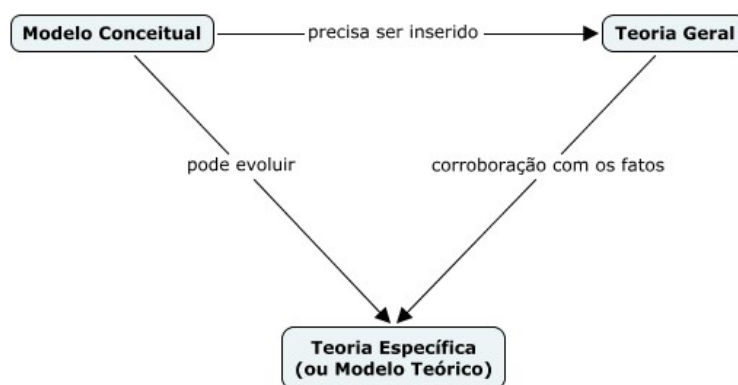


Figura 1. Os elementos essenciais no processo de confrontação entre teoria e realidade.

Uma vez construído um modelo teórico capaz de gerar explicações e fazer predições, será preciso analisar seus resultados e confrontá-los com os dados empíricos obtidos a partir do sistema ou fenômeno físico em questão. Esse processo de análise e confrontação entre resultados teóricos e empíricos envolve uma série de testes, tanto de natureza empírica quanto racional, que acabam por evidenciar o grau de concordância entre estes resultados e também com o grosso do conhecimento científico. Como já vimos, a adequação de um modelo científico aos fatos depende basicamente: **a)** dos seus propósitos (e do grau de precisão de suas predições), **b)** da quantidade de informações disponível sobre a realidade e **c)** das idealizações que são feitas a respeito do sistema ou fenômeno em questão.

Dito da maneira acima, o processo de análise e confrontação entre os resultados gerados pelos modelos teóricos e os dados obtidos a partir da observação e da experimentação de sistemas ou fenômenos físicos parece demasiado simples. A fim de aprofundarmos nossa discussão sobre este aspecto, podemos formular a seguinte questão: por que os cientistas comparam os resultados teóricos dos modelos com os dados empíricos das observações e das experimentações, se ambos possuem erros? A resposta a esta pergunta não é trivial. Uma vez que os modelos partem de situações idealizadas, simplificadas, é de se esperar que falhem em representar algum aspecto de sistemas reais em certas situações. Por outro lado, as proposições de observações e a obtenção de resultados experimentais estão baseadas em considerações teóricas que fornecem os fundamentos para a construção dos aparatos experimentais, para o registro de medidas e para a transformação das medidas em dados empíricos. Como exemplo, pense no conhecimento teórico empregado na construção de aceleradores para observar o comportamento de partículas inicialmente previstas por teorias científicas. Além disso, no próprio processo de observação e experimentação estão envolvidos erros intrínsecos aos instrumentos de medidas. Analisemos cada um destes aspectos a partir de situações em Física.

Inicialmente, vejamos a situação-problema colocada por Monteiro (2006). Suponha que estamos interessados em analisar o movimento de queda de uma bola do alto de um edifício de altura h em relação à superfície terrestre. Como já se sabe, após identificarmos o problema, devemos ser capazes de formular questões claras para responder como, por exemplo: com que velocidade e após quanto tempo a bola deve atingir o solo? Em seguida, é preciso construir um esquema conceitual do sistema físico e selecionar as variáveis e os parâmetros que passarão a representar os referentes do modelo. Neste caso, procedemos fazendo as seguintes idealizações: **a)** o movimento da bola dá-se na vertical; **b)** desprezam-se os efeitos de resistência do ar e do empuxo; e **c)** o módulo da aceleração da gravidade é considerado constante. Assim, as variáveis são: o tempo t , considerado como variável independente, e a posição y e a velocidade v_y da bola, ambas dependentes do tempo t . Já os parâmetros relevantes envolvidos na descrição do sistema são: a massa m da bola e a aceleração da gravidade \vec{g} que age sobre a bola devido à presença da Terra. Uma vez constituído um esboço do sistema, será preciso estabelecer relações matemáticas na tentativa de solucionar o problema. Assim, aplicando a segunda Lei de Newton à nossa representação esquemática, temos que:

$$F_y = ma_y$$

onde F_y é a resultante das forças na direção y e a_y é a componente da aceleração da bola nesta mesma direção. Para sistemas em que a massa permanece constante e lembrando que, por definição,

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}$$

resulta,

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = F_y$$

Como a única força considerada no movimento de queda da bola é a força peso, a força resultante que atua na direção y é dada por:

$$F_y = -mg$$

onde o sinal negativo decorre do fato de que adotamos como sistema de referência um eixo vertical orientado para cima. Logo, chega-se a seguinte expressão:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -g$$

Resolvendo esta equação diferencial, é possível obter-se as expressões para a velocidade v_y e para a posição y da bola em função do tempo, tal que:

$$v_y(t) = -gt$$

$$y(t) = h - \frac{gt^2}{2}$$

Ao compararmos os resultados teóricos obtidos pelo modelo, para as variáveis dependentes (y e v_y), com os dados experimentais, através dos gráficos abaixo, $y \times t$ e $v_y \times t$, é fácil constatar a discrepância entre os mesmos.

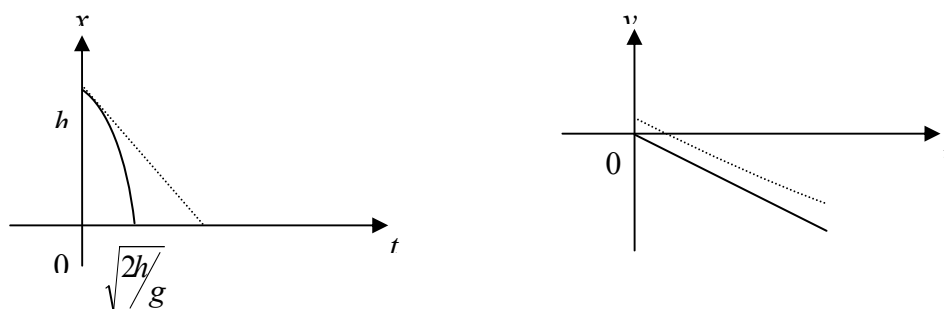


Figura 2. À esquerda, o gráfico $x \times t$ e, à direita, o gráfico $v_y \times t$. As linhas tracejadas indicam os resultados experimentais e as cheias os resultados teóricos.

Nesse caso, já sabemos de antemão quem é o culpado: o modelo teórico e não os dados empíricos, pelo simples fato de que o modelo que consideramos acaba por desprezar o efeito da força de resistência do ar que atua sobre a bola. Porém, em geral, modelos teóricos são concebidos a partir da inserção de modelos conceituais em teorias gerais. Assim, o processo de apontar os culpados pode tornar-se demasiado complicado. Pode ser que o modelo conceitual seja inadequado para descrever o sistema físico. Ou, pode ser que a teoria geral não forneça uma base confiável para abordar o fenômeno de interesse. Ou, ainda, que os dados experimentais contenham erros. No caso acima, parece razoável apontar o modelo conceitual como o responsável pela discrepância entre os resultados teóricos e empíricos, na medida em que despreza a força de resistência do ar que se opõe ao movimento, fazendo com que a velocidade da bola tenda para um valor limite durante sua queda. Inclusive, pelo fato de que se levarmos em consideração os efeitos resistivos do ar sobre a bola, mantendo a Mecânica Clássica como teoria geral, os resultados teóricos ajustar-se-ão com boa precisão aos dados obtidos experimentalmente. Entretanto, para situações mais complexas, em que os cientistas não possuem certezas, os responsáveis pelos erros podem ser ainda outros que não o modelo conceitual ou a teoria geral em serviço, a saber: as teorias subjacentes ao planejamento e à execução do processo de observação e de experimentação.

Ao combater a visão empirista sobre Ciência em seu livro *Qué es esa cosa llamada Ciencia?*, Chalmers (1997) defende que as teorias precedem as proposições de observação e o processo de experimentação na Ciência. Nesse sentido, o autor apresenta uma série de situações, das quais iremos nos valer de duas, na tentativa de ilustrar o papel das teorias na obtenção de dados empíricos. Primeiramente, consideremos a afirmação feita por um alpinista num piquenique no alto de uma montanha, após observar o processo de ebulição da água: “A água está suficientemente quente para se fazer chá” (Chalmers, 1997, p. 51). Assim, o alpinista retira a água do fogo, prepara o chá rapidamente e verifica que o mesmo não se encontra à temperatura desejada. Esta situação mostra que, ao empregarmos erroneamente uma teoria, acabaremos por fazer uma proposição de observação também errônea. Segundo Bunge, “...o homem moderno não dispensa as teorias científicas afim de avançar, seja em conhecimento, seja em ação... Mas também: apliquem mal as teorias científicas e a própria humanidade pode chegar a um fim” (Bunge, 1974, p. 9). A teoria utilizada pelo alpinista considera que independentemente das condições de pressão, ao ter-se água fervente, podemos fazer chá quente. Entretanto, para grandes altitudes ela perde sua validade. Outro exemplo com que nos brinda Chalmers remonta a Heinrich Hertz quando, em 1888, interessado em demonstrar a existência de ondas (eletromagnéticas) de rádio, fez inúmeros experimentos para testar a Teoria Eletromagnética de James Clerck Maxwell. Se as teorias não precedessem a experimentação, Hertz deveria ter registrado cuidadosamente não só o que indicavam os medidores, as faíscas e as dimensões dos circuitos elétricos utilizados, como também as

condições climáticas e todo o aparato reconhecidamente irrelevante para a teoria em teste (Eletromagnetismo de Maxwell). Segundo Chalmers,

Na medida em que as teorias que constituem nosso conhecimento científico são falíveis e incompletas, a orientação que elas oferecem, como, por exemplo, as observações relevantes para algum fenômeno sob investigação, podem ser enganosas, e podem resultar no descuido com alguns importantes fatores (Chalmers, 1997, p. 54).

Hertz tinha como objetivo não só produzir as ondas de rádio, mas também determinar suas velocidades (que de acordo com a teoria eletromagnética de Maxwell deveriam ser a mesma da luz). Entretanto, o físico alemão morreu sem conseguir determinar a velocidade das ondas de rádio. O problema estava no fato de que as ondas eram refletidas pelas paredes do laboratório e interferiam nas medidas de suas velocidades.

Silveira e Ostermann (2002), ao criticarem o experimento proposto por Bernard e Epp (1995, apud. Silveira e Ostermann, 2002) para a determinação da “lei do período do pêndulo simples”, demonstram a insuficiência da visão empirista-indutivista sobre Ciência ao enfatizarem a importância dos pressupostos teóricos, que nada têm a ver com as observações, na escolha de curvas que se ajustam aos dados empíricos obtidos a partir de sistemas ou fenômenos físicos. Nesse sentido, concluem que o ajuste de curvas teóricas aos dados experimentais necessita de argumentos que transcendem a observação, a experimentação e os procedimentos formais da Matemática. Além disso, tecem críticas ao procedimento de generalização dos resultados obtidos a partir de um único pêndulo real que, obviamente, não se constitui num pêndulo simples. Vejamos o experimento proposto por Bernard e Epp. Grosso modo, o método consiste em ajustar os dados obtidos para o período T de um pêndulo, constituído de uma esfera homogênea com cerca de 3 cm de raio suspensa por um fino fio, em função da distância D do ponto de suspensão ao centro da esfera, por uma função do tipo:

$$T = kD^n$$

onde n é o expoente e k é a constante de proporcionalidade. Ao criticarem esse procedimento, Silveira e Ostermann propõem outras quatro funções que também se ajustam aos dados obtidos por Bernard e Epp e que, a exemplo da função acima, conduzem a um período nulo quando o comprimento tende a zero. Em seguida, questionam a razoabilidade desta suposição e concluem: ao suspendermos um corpo pelo seu centro de gravidade, ele permanece em equilíbrio, e conseqüentemente não oscila. Logo, “o período deve crescer quando o comprimento tender para zero (deve tender a infinito quando o comprimento tende para zero)” (Silveira e Ostermann, 2002: 22). Então, ao descartarem as cinco funções discutidas, propõem combinar a Mecânica Clássica com um modelo específico para o pêndulo de Bernard e Epp, e demonstram que o período do pêndulo é dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{D + \frac{2R^2}{5D}}{g}}$$

onde R é o raio da esfera, D a distância do ponto de suspensão ao centro da esfera e g é o módulo da aceleração da gravidade. Notem que essa função leva o período T para infinito quando D tende a zero. Ao ajustarem os dados experimentais com a função acima, deixando g como parâmetro a ser determinado, o valor encontrado foi de 974 cm/s^2 , com um erro de 10 cm/s^2 . Por fim, concluem que a qualidade do ajuste obtido pela função acima é similar ao das funções anteriormente utilizadas. Em suma, “a decisão por uma função de ajustamento transcende os resultados experimentais, envolvendo considerações teóricas” (ibid., 24).

A relação entre modelos teóricos, modelos computacionais e a experiência: a questão do erro

Ao discutirmos a confrontação entre teoria e realidade, fomos levados a considerar a adequação dos resultados gerados pelos modelos teóricos aos dados experimentais. Nesse sentido, procuramos analisar as possíveis fontes de erro no processo de confrontação entre os resultados teóricos e empíricos. Ou seja, estivemos preocupados com o lado esquerdo do triângulo mostrado na figura abaixo.

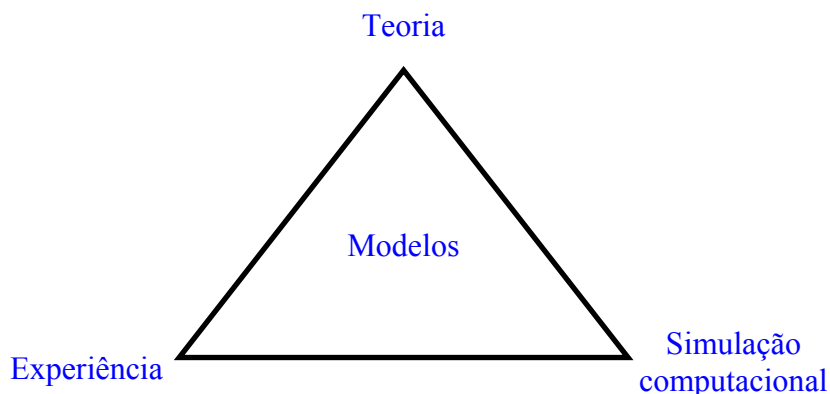


Figura 2. O papel mediador desempenhado pelos modelos entre teoria, realidade e simulação computacional.

Vejamos, agora, os outros dois lados do triângulo, ou seja, a relação entre modelos teóricos e modelos computacionais, e destes com a realidade, de um ponto de vista do ensino de Ciências. Nesse contexto, os modelos teóricos podem ser entendidos como versões, para fins didáticos, de modelos aceitos pela comunidade científica, isto é, de modelos científicos. Já os modelos (ou simulações) computacionais podem ser entendidos como versões computacionais de modelos teóricos para fins didáticos. Logo, na medida em que o modelo (ou simulação) computacional tenha sido implementado de acordo com o modelo teórico que o embasou, os resultados gerados pelo modelo computacional devem necessariamente reproduzir os resultados produzidos pelo modelo teórico¹³. Evidentemente, isso não é sinônimo de adequação aos fatos reais, como já vimos no início deste texto. Assim, ao trabalharmos com modelos computacionais devemos estar atentos para os seguintes aspectos: **a)** os resultados gerados pelo modelo computacional podem estar de acordo com os gerados pelo modelo teórico correspondente e, mesmo assim, não coincidirem com os fatos reais; e **b)** o modelo teórico que fundamenta o modelo computacional, apesar de adequar-se aos dados empíricos, pode ter sido mal implementado. Em ambos os casos, resultam modelos computacionais que possuem erros e, por consequência, não simulam de maneira adequada os dados empíricos, seja por questões de implementação, seja por estarem baseados em pressupostos teóricos inadequados. Por fim, podemos ter, como é o desejado, modelos computacionais que simulam adequadamente aspectos do mundo real, na medida em que são construídos com base em modelos teóricos que representam com boa aproximação sistemas ou fenômenos físicos de interesse.

¹³ Neste caso, não estamos considerando a questão da propagação de erros numéricos na implementação do modelo computacional.

Considerações finais

Vimos que a confrontação entre teoria e realidade dá-se mediante a construção de modelos teóricos. Estes, por sua vez, costumam ser obtidos pela inserção de modelos conceituais em teorias gerais. Logo, em caso de inadequação entre os resultados teóricos e empíricos, a busca pelos responsáveis não é tão simples quanto parece. Em geral, costuma-se colocar a culpa nos modelos teóricos. Entretanto, a obtenção de dados empíricos pressupõe o uso de teorias científicas que podem, ou não, serem inadequadas ou mal empregadas durante o processo de elaboração e execução dos procedimentos observacionais e/ou experimentais. É preciso, ainda, levar em consideração os erros intrínsecos aos instrumentos de medida. Por fim, ao trabalharmos com modelos computacionais devemos estar atentos para os possíveis erros que os mesmos possam ter, a saber: o modelo teórico que fundamenta a construção do modelo computacional pode ter sido mal implementado ou, ainda que corretamente implementado, o próprio modelo teórico possui erros e não bate com os dados empíricos.

Referências

- BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, v. 72. 1974. 243 p. (Debates)
- CHALMERS, A. F. *Qué es esa cosa llamada Ciencia?* Madrid: Siglo veintiuno de españa editores. 1997. 245 p.
- MONTEIRO, L. H. A., **Sistemas dinâmicos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2ª Edição, 2006. 625 p.
- SILVEIRA, F. L. e OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, número especial, p. 7-27, Jun. 2002.

Texto de apoio nº 6

Validação, precisão, expansão e generalização de modelos científicos

Este texto é o último de nosso curso e por isso, além de discutir novos aspectos conceituais como a validação, a precisão, a expansão e a generalização de modelos científicos, pretende retomar conceitos anteriormente abordados a fim de possibilitar uma integração das idéias sobre a modelagem de fenômenos físicos.

Domínio de validade e grau de precisão de modelos científicos

No texto anterior, discutimos sobre a adequação aos dados empíricos dos resultados obtidos a partir de modelos teóricos. Em particular, focamos nossa atenção em dois aspectos fundamentais, a saber: a) as possíveis fontes de erros no processo de confrontação entre os resultados teóricos e experimentais; e b) a importância dos pressupostos teóricos na escolha da função de ajuste aos dados empíricos. Como foi visto, a adequação de modelos teóricos aos dados empíricos depende dos objetivos do modelo, da quantidade de informações disponível sobre os fatos e das idealizações que são feitas a respeito do sistema ou fenômeno em questão. Estes, por sua vez, acabam determinando o contexto de validade e o grau de precisão dos modelos teóricos.

No estudo de sistemas dinâmicos reais, os cientistas costumam construir modelos teóricos que representam de forma aproximada o comportamento dos mesmos, com

determinado grau de precisão. Nesse processo, delimitam o sistema físico a ser estudado, elaboram representações esquemáticas (modelos conceituais) e, à luz de teorias gerais, traduzem-nas para uma linguagem matemática capaz de explicitar a variação das grandezas que são relevantes na descrição da evolução temporal do sistema real. Além disso, analisam as possíveis influências dos parâmetros e das condições iniciais no comportamento destas grandezas, assim como a razoabilidade das soluções obtidas. Após o processo de construção, procuram comparar os resultados do modelo teórico com os dados obtidos através de experimentos e/ou de observações, o que nem sempre é possível. Em caso de concordância, o modelo poderá passar a fornecer uma explicação adequada para o comportamento do sistema, em certas circunstâncias, como também a fazer previsões. Contudo, nenhum modelo científico tem a pretensão de representar completamente qualquer sistema ou fenômeno físico. E não o fazem pelo simples fato de que são concebidos para descrever *certos fenômenos* que exibem estrutura e/ou comportamento semelhantes. Por isso, possuem um domínio de validade. Além disso, por concentrarem-se em um número limitado de características essenciais espera-se que, mais cedo ou mais tarde, falhem ao representar algum aspecto da realidade. Nesses casos, dizemos que o modelo em questão extrapola seu domínio (escopo) de validade. O contexto de validade não é algo que seja exclusivo dos modelos científicos, aplicando-se igualmente às teorias científicas que fornecem as bases para explicações de setores específicos da realidade. O exemplo clássico é o da Mecânica Newtoniana que descreve com boa aproximação o movimento de objetos macroscópicos usuais, porém, suas leis e princípios deixam de ser válidos nas regiões de altas velocidades (da ordem da velocidade da luz, c) e de pequenas dimensões (escalas atômica e sub-atômica).

Analisemos, agora, o movimento real de um projétil. Até que ponto esta situação pode ser representada por um modelo de partícula em movimento parabólico sob a ação da força da gravidade? Em outros termos, faz sentido comparar os resultados de um modelo que despreza a resistência do ar, a variação da aceleração gravitacional, o empuxo, o raio de curvatura da Terra e a sua velocidade de rotação, com os dados experimentais (para o alcance, a altura máxima, o tempo de voo, etc.)? E a resposta poderia ser: faz sentido dependendo do tipo de projétil, das condições iniciais de lançamento (posição e velocidades de translação e rotação) e do grau de precisão que se deseja. Em suma, todas essas hipóteses simplificadoras, ou melhor, idealizações, são *válidas* para condições muito específicas. Assim, um objeto de área “pequena”, densidade “muito maior” que o ar, velocidade linear “baixa” e que gire “pouco” pode ser descrito com boa aproximação por um modelo baseado nas hipóteses acima. As expressões entre aspas podem adquirir diferentes interpretações, dependendo do grau de precisão que se deseja obter com o modelo. Entretanto, para outras condições que não estas, alguns dos efeitos acima podem se tornar relevantes. Por exemplo, uma bala de fuzil lançada com velocidade de 620 m/s e ângulo de 45° com a horizontal percorreria, de acordo com o modelo acima, uma trajetória parabólica com altura máxima de 10 km e alcance de 40 km. No entanto, seu alcance máximo não passa de 4 km devido aos efeitos de resistência do ar (Perelman, 1983). Além disso, para alcances ainda maiores, é preciso considerar a rotação da Terra se quisermos atingir o alvo desejado.

Expansão de modelos científicos

Outro aspecto intimamente relacionado com o que foi dito acima diz respeito ao processo de expansão de modelos científicos. Na medida em que as idealizações são inerentes ao processo de modelagem, os modelos científicos passam a representar certos fenômenos de interesse, com determinado grau de precisão. Nesse sentido, quanto mais idealizações, mais restritos serão os modelos ao descrever a realidade e menor deverá ser o grau de precisão

entre os resultados teóricos e experimentais, dentro do seu domínio de validade. Por outro lado, quanto menos idealizações, mais complexos deverão ser os modelos. Embora a complexidade não seja um sinônimo de precisão, é de se esperar que tenhamos um maior grau de concordância entre os resultados teóricos e os dados empíricos. A expansão de um modelo científico visa incluir referentes, variáveis, parâmetros, relações e conceitos não incluídos inicialmente, pela mudança dos pressupostos teóricos e das idealizações, a fim de ampliar o domínio de validade do modelo em questão. Esta ampliação do limite de validade deve ser entendida como um aperfeiçoamento no sentido de fornecer explicações mais adequadas e/ou de tornar seus resultados mais precisos na descrição do fenômeno físico de interesse. Se olharmos para a história da Estrutura da Matéria, teremos bons exemplos para discutir a expansão (aperfeiçoamento) dos modelos atômicos identificando: a) as deficiências explicativas dos modelos; b) as modificações sofridas pelos modelos devido às mudanças nos pressupostos teóricos e nas idealizações; c) a maneira pela qual o novo modelo resolveu as insuficiências do seu predecessor e d) as subseqüentes deficiências do novo modelo (Justi e Gilbert, 2000).

O modelo atômico de Thomson

Em 1899, J. J. Thomson formula o primeiro modelo do átomo com estrutura interna para explicar a dinâmica e a estabilidade da matéria em nível microscópico. Nessa época a razão carga/massa do elétron já era conhecida. As hipóteses (idealizações) feitas por Thomson deram origem a um modelo

composto de um grande número de elétrons e “alguma” carga positiva que balanceasse a carga negativa total. Essa idéia vaga sobre a carga positiva do átomo foi substituída, em 1904, pelo modelo no qual o átomo seria uma distribuição esférica homogênea de carga positiva, no interior da qual os elétrons estariam distribuídos uniformemente, em anéis concêntricos (CARUSO E OGURI, 2006, p. 351).

Com base neste mecanismo hipotético para a estrutura interna do átomo, Thomson explicou *qualitativamente* a emissão de radiação eletromagnética por corpos aquecidos a uma temperatura maior do que o zero absoluto supondo que os elétrons vibrassem em torno de suas posições de equilíbrio, em movimento acelerado. Segundo a Eletrodinâmica Clássica, partículas carregadas em movimento acelerado emitem radiação e conseqüentemente perdem energia. Então, como explicar a estabilidade de sistemas atômicos? Além disso, Thomson acreditava que a distribuição de carga positiva não continha massa. Assim, o átomo, por menor que fosse, deveria conter milhares de elétrons. Mais tarde, essa hipótese se mostrou inadequada para explicar os resultados obtidos experimentalmente, por Rutherford, com feixes de partículas α que incidiam sobre lâminas metálicas delgadas. Algumas partículas eram desviadas com ângulos bem maiores do que 90° , ou seja, eram praticamente retro-espalhadas. Entretanto, os cálculos de Thomson previam desvios máximos da ordem de 10^{-4} rad na trajetória das partículas α que colidissem com um elétron. Para vários elétrons, a ordem de grandeza se mantinha a mesma devido à baixa probabilidade de colisão entre a partícula α e mais de um elétron do mesmo átomo.

O modelo atômico de Rutherford

Em vista dos resultados obtidos, por Geiger e Marsden, numa série de experimentos em que foram utilizados diferentes feixes de partículas α , espessuras de lâminas e materiais-

alvo, Rutherford modifica completamente a concepção de Thomson sobre a estrutura interna do átomo introduzindo a idéia de

um núcleo central com carga $\pm Ze$, envolto por uma distribuição uniforme de carga $\mp Ze$, em uma esfera de raio a . O núcleo atômico introduzido nesse modelo teria um raio da ordem de 10^4 menor que o raio atômico... e seria responsável pelos espalhamentos a grandes ângulos, desde que a partícula incidente passasse perto o suficiente dele para experimentar uma força apreciável (ibid., p. 368-369).

Com este modelo, Rutherford explicou o espalhamento de partículas α a grandes ângulos, porém não resolveu o problema da estabilidade da matéria. Ao final do artigo em que apresenta seu modelo atômico, admite que os elétrons possam estar dispostos ao redor do núcleo em vez de estarem distribuídos homogeneamente numa esfera de raio a . Entretanto, se os elétrons estivessem em repouso seriam imediatamente atraídos para o núcleo pela atração coulombiana. Por outro lado, se estivessem em movimento ao redor do núcleo, estariam constantemente emitindo radiação eletromagnética e acabariam por colapsar em direção ao centro do átomo. Além disso, a contínua emissão de radiação resultaria em espectros contínuos, o que estava em completo desacordo com os resultados obtidos pela espectroscopia da época.

O modelo atômico de Bohr

De modo a contornar o problema da estabilidade atômica, em 1913, Bohr apresenta em seu artigo “Sobre a constituição de átomos e moléculas” um conjunto de postulados convincentes para descrever o átomo que podem ser resumidos da seguinte forma:

1. Um elétron em um átomo se move em uma órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
2. Em vez da infinidade de órbitas que seriam possíveis segundo a mecânica clássica, um elétron só pode se mover em uma órbita na qual seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de \hbar (a constante de Planck dividida por 2π).
3. Apesar de estar constantemente acelerado, um elétron que se move em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto, sua energia total E permanece constante.
4. É emitida radiação eletromagnética se um elétron, que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total E_i , muda seu movimento descontinuamente de forma a se mover em uma órbita de energia total E_f . A frequência da radiação emitida ν é igual à quantidade $(E_i - E_f)$ dividida pela constante de Planck h (EISBERG E RESNICK, 1979, p. 138).

Baseado nos postulados que tinham como objetivo dar sustentação teórica à suposta estabilidade do átomo de Rutherford, a teoria de Bohr teve como consequência, não-intencionada originalmente, a explicação das conhecidas fórmulas empíricas que prediziam quantitativamente as linhas espectrais do átomo de hidrogênio (Silveira e Peduzzi, 2006). Na verdade, a grande contribuição do modelo de Bohr foi mostrar para a comunidade científica que a Mecânica Clássica apresentava sérios problemas ao tentar descrever fenômenos que ocorriam em escala atômica, embora ele próprio tenha empregado-a juntamente com a idéia de quantização. Nesse sentido, o modelo atômico de Bohr pode ser pensado como um modelo semi-clássico.

O modelo atômico quântico

As idéias de De Broglie, Schrödinger e Heisenberg conduziram a um novo modelo para a estrutura da matéria que se baseia na resolução de uma equação que só apresenta solução para um conjunto de certos valores associados à energia e ao momento angular dos elétrons no átomo. Neste modelo quântico, “*todo elétron num átomo é distinguível*” (Justi e Gilbert, 2000, p. 297). Ou seja, cada elétron é caracterizado pelos seguintes números quânticos:

[...] n designa auto-estados de energia; l designa auto-estados de momento angular total; m_l de componentes de momento angular na direção z . Cada um destes auto-estados pode ser populado por dois elétrons, cada qual com um número quântico m_s de spin diferente (PESSOA Jr., 2003, p.118).

Por fim, os quatro modelos apresentados para o átomo evidenciam a complexidade de se entender a natureza em escala atômica, o trabalho colaborativo de inúmeros cientistas, os fracassos e sucessos desta atividade, enfim, todo o processo de aperfeiçoamento dos modelos científicos na tentativa de fornecerem explicações cada vez mais adequadas não só aos dados empíricos como também à massa de conhecimento já estabelecida. Contudo, às vezes, deixam de concordar com teorias bem estabelecidas, contradizem-se, são refinados e, desse modo, permanecem em constante processo de expansão. Segundo Caruso e Oguri,

Um modelo físico deve ser capaz não só de permitir a explicação do fenômeno estudado, como também de fazer previsões; pode ou não ser coerente com outros modelos ou teorias relacionados com o fenômeno. A discordância pode, algumas vezes, ser indicativa de novos fenômenos e apontar para a necessidade de novas explicações (CARUSO E OGURI, 2006, p. 350).

Generalização de modelos científicos

Por fim, vejamos dois exemplos que ilustram uma prática comum entre os cientistas teóricos: a generalização de esquemas conceituais e/ou formalismos matemáticos para auxiliar na descrição de fenômenos inteiramente diversos daquele inicialmente sob investigação. Assim, o processo de generalização de modelos científicos visa ampliar o limite de aplicabilidade da estrutura dos modelos conceituais e/ou modelos teóricos a diferentes fenômenos físicos. Tomemos um exemplo há pouco discutido: o modelo do sistema planetário. Este esquema conceitual foi utilizado por diversos cientistas (Nagaoka, Rutherford, Bohr, etc.) preocupados em descrever a matéria em escala atômica apesar de, inicialmente, ter sido concebido para explicar o movimento dos planetas ao redor do Sol, como o próprio nome sugere.

Agora, vejamos a analogia entre dois modelos teóricos que costumam representar, de forma aproximada, fenômenos físicos distintos: o oscilador mecânico (sistema massa-mola) e o oscilador elétrico (circuito LC). A tabela 1 ilustra esta relação de analogia.

Tabela 1. Analogia entre os modelos de osciladores mecânico e elétrico.

Oscilador mecânico	Oscilador LC
$x, m, k, \omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}}$	$Q, L, \frac{1}{C}, \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Oscilador mecânico	Oscilador LC
$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$	$L \frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{1}{C}Q = 0$
$v_x = \frac{dx}{dt}$	$I = \frac{dQ}{dt}$
Energia cinética: $T = \frac{1}{2}mv^2$	Energia magnética: $U_M = \frac{1}{2}LI^2$
Energia potencial: $V = \frac{1}{2}kx^2$	Energia elétrica: $U_E = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$

Na tabela acima fica evidente a adoção do mesmo formalismo matemático subjacente aos dois modelos teóricos. No caso do oscilador mecânico (ou sistema massa-mola), os parâmetros que definem o sistema são a massa m do objeto preso à mola, a constante elástica k da mola e a frequência angular ω do sistema. As variáveis dependentes são a posição x e a velocidade v_x do objeto preso à mola. Como relações, temos as expressões para as energias cinética e potencial do sistema. Já no caso do oscilador elétrico (circuito LC), os parâmetros envolvidos na caracterização do sistema são a indutância L do indutor, a capacitância C do capacitor e a frequência angular ω do sistema. As variáveis dependentes são a quantidade de carga elétrica Q armazenada no capacitor e a intensidade de corrente elétrica I que circula pelos fios do circuito elétrico. Como relações, temos as expressões para as energias magnética e elétrica armazenadas nos elementos do circuito. Ambos modelos teóricos descrevem os fenômenos a partir de uma equação diferencial de segunda ordem a coeficientes constantes. Mas, embora possuam soluções matemáticas similares, a interpretação dos resultados gerados pelos modelos é completamente diferente uma vez que os referentes em nada se parecem uns com os outros.

Considerações Finais

Iniciamos o curso enfatizando o papel do **conhecimento teórico** na compreensão do mundo real ou suposto como tal. Em face das limitações do homem para conhecer a realidade da forma como ela se apresenta, os cientistas utilizam-se de ferramentas conceituais tais como teorias, leis, modelos, hipóteses e outros, que nos auxiliam a dar sentido ao mundo em que vivemos. Entretanto, estas ferramentas conceituais também possuem limitações na medida em que fornecem explicações e predições de setores específicos da realidade. Nesse sentido, para lidar com os **fenômenos** (físicos) **de interesse**, os cientistas elaboram diferentes abordagens às **situações** (problemas) reais, formulando **questões** (enfoques) inteiramente diversas, a fim de produzirem explicações e predições complementares de sistemas ou fenômenos naturais. Dentro desse contexto, introduzimos as noções de **modelo conceitual** e **modelo teórico** como os responsáveis pelos processos de mediação e confrontação entre teoria e realidade. Como sugere Bunge, assumimos que os dois principais sentidos para o termo “modelo” no âmbito

das Ciências Naturais são: “o modelo enquanto representação esquemática de um objeto concreto e o modelo enquanto teoria relativa a esta idealização” (Bunge, 1974, p. 30). O primeiro sentido pode ser entendido como uma representação simplificada, idealizada, de um sistema ou fenômeno natural. Contudo, para frutificar, esta representação esquemática precisa ser inserida numa **teoria geral** a fim de constituir-se num modelo teórico, ou seja, numa teoria específica relativa a esta idealização, capaz de fornecer explicações, fazer previsões e ser confrontado com os fatos reais. Tendo construído um modelo teórico, com seus **referentes, relações, variáveis e parâmetros**, o passo seguinte envolve uma análise da razoabilidade dos resultados obtidos a partir do modelo e da confrontação destes com os resultados experimentais. Na medida em que são formulados a partir de **situações idealizadas** é de se esperar que representem de **forma aproximada** o sistema ou fenômeno físico de interesse, com certo **grau de precisão**, dentro de um **domínio de validade**. Por fim, os modelos podem ser ainda **expandidos** ou **generalizados**. Porém jamais poderão fornecer uma imagem especular da realidade.

Referências

- BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, v. 72. 1974. 243 p. (Debates)
- CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 605 p.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1979. 13^a Edição. 928 p.
- JUSTI, R.; GILBERT, J. History and philosophy of science through models: some challenges in the case of “the atom”. **International Journal of Science Education**, 2000, v. 22, n. 9, p. 993-1009.
- MONTEIRO, L. H. A., **Sistemas dinâmicos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2^a Edição, 2006. 625 p.
- PERELMAN, Y. **Física recreativa**. v. 1, 1983. 231 p.
- PESSOA Jr., O. **Conceitos de física quântica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, v. 1, 2003. 189 p.
- SILVEIRA, F. L.; PEDUZZI, L. O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 26-52, abr., 2006.

APÊNDICE D

Neste apêndice, apresentamos as mensagens enviadas pelos alunos aos seis Fóruns de discussão realizados na plataforma de ensino a distância TeEduc. Com exceção do fórum de discussão de temas livres, todos os demais se desenvolveram a partir de questões específicas propostas pelo professor. A primeira linha de cada tabela inicia com a(s) questão(ões) a ser(em) debatida(s). Em seguida, são apresentadas todas as mensagens do fórum, ordenadas por data de postagem, da mais antiga para a mais recente, e com uma análise por parte do professor quanto à sua relevância para a discussão. Nos casos em que a mensagem gerou resposta(s) de outro(s) aluno(s), a ordem cronológica foi alterada como se pode observar facilmente.

Fórum de discussão 1

TABELA D.1 – Participação dos alunos no Fórum de discussão 1.

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
Questão 1	Professor	<p>Considere o texto abaixo extraído do livro de texto <i>Física: Mecânica</i> de Alberto Gaspar, publicado pela Editora Ática no ano de 2000.</p> <p>“Grandeza é tudo o que pode ser medido. Comprimento, massa, tempo, força, velocidade são grandezas porque podem ser medidos... A Física, como toda Ciência, só trabalha com grandezas, ou seja, com aquilo que pode ser medido.” (Gaspar, 2000, p. 22)</p> <p>Você concorda com a afirmação acima? Justifique sua resposta.</p>	Quarta, 03/10/2007, 11:10:58
Re: Questão 1	Aluno 6	<p>Não concordo. Penso que o autor foi simplista demais, uma vez que sabemos que algumas grandezas, além do valor numérico e a unidade, ainda dependem de direção e sentido para ficarem perfeitamente definidas como, por exemplo, a velocidade, a aceleração, a quantidade de movimento e o campo elétrico. Isto é, não houve uma distinção entre grandeza escalar e vetorial.</p>	<p>Quarta, 03/10/2007, 13:26:32</p> <p>Não Relevante</p>
Re: Questão 1	Aluno 4	<p>Não concordo, pois dentro da mecânica quântica nem tudo pode ser medido, o próprio princípio da incerteza já deixa isso bem claro. Se quisermos determinar o momento de uma partícula perderemos a sua posição. Mesmo para um estudante iniciante do ensino médio que ainda não conheça a área atômica, o livro deveria ter mais cuidado ao colocar essa afirmação, pois no seu próprio livro, vol. 3, na página 362 e 363, ele fala da incerteza de uma medida dizendo "...quando a precisão de uma medida aumenta a outra diminui..."</p>	<p>Quarta, 03/10/2007, 19:06:19</p> <p>Muito relevante</p>
Re: Questão 1	Aluno 2	<p>É interessante notar que em diversos <i>sites</i> e livros existe esta afirmação de que as grandezas chamadas Físicas são grandezas que podem ser medidas e isso, inclusive, está muito fixo na cabeça dos alunos.</p>	<p>Quinta, 04/10/2007, 15:22:51</p> <p>Muito relevante</p>

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		Sabemos que há grandezas mensuráveis que são estudadas pela Física. Mas a Ciência não trabalha apenas com aquilo que pode ser medido. Entendo que o desejo dela é mensurar, mas para determinar, por exemplo, a velocidade e a posição de um elétron, sabemos que não são medições possíveis ao mesmo tempo. Afinal, ora obtemos uma grandeza, ora a outra, e mesmo assim a grandeza não deixa de ser uma grandeza apenas porque, em determinada situação, não pode ser mensurada. E também esta grandeza não deixa de ser estudada pela Física por não podermos determiná-la em todos os momentos, o que discorda, então, da afirmação de que a Física SÓ trabalha com aquilo que pode ser medido.	
Re: Questão 1	Aluno 11	Também concordo que a frase não está boa. Porém, acredito que o autor estava querendo enfatizar ao aluno o fato de a Física não trabalhar grandezas “não-Físicas”, tais como, dor, paixão, amor, etc que, ao contrário das grandezas “Físicas”, não podem ser mensuradas. Cabe lembrar, também, que este parágrafo foi extraído do segundo capítulo do primeiro volume. Muitos professores fazem deste conteúdo a primeira aula de Física do estudante no primeiro ano do Ensino Médio e, talvez por isso, o autor não quis aprofundar o assunto do ponto de vista filosófico, mas apenas direcionar o estudante a abrangência da Física.	Quinta, 04/10/2007, 17:27:31 Relevância média
Re: Re: Questão 1	Professor	Mas afinal Aluno 11, concorda ou não com a afirmação? Entendo que a Física não trabalha com dor, paixão, amor, etc. Resta saber por que motivo. É porque não podem ser medidos?	Quinta, 04/10/2007, 18:10:59
Re: Questão 1	Aluno 13	Não concordo, porque existem grandezas também trabalhadas na Física que não podem ser medidas como, por exemplo, energia e capacidade térmica. São grandezas que derivam de medições de outras.	Domingo, 07/10/2007, 00:20:04 Relevância média
Re: Questão 1	Aluno 10	O autor comenta sobre a grandeza o que é verdade, é tudo que pode ser medido, mas quando ele fala que a Física só trabalha com grandezas ele comete um deslize, pois como alguns colegas já relataram, e, principalmente, na parte da Física moderna, isso fica complicado. Talvez ele tivesse se referindo até ao título de seu livro Física: Mecânica, o que torna compreensível seus dizeres, mas não verdadeiro.	Domingo, 07/10/2007, 17:49:13 Relevância média

Fórum de discussão 2

TABELA D.2 – Participação dos alunos no Fórum de discussão 2.

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
Questão 2	Professor	Considere o texto abaixo extraído do livro de texto Temas da Física: Mecânica de Bonjorno et al., publicado pela Editora FTD no ano de 1997. “Na pesquisa de um fenômeno e das leis que o regem, deve-se obedecer a uma ordem progressiva, que constitui o método da ciência. Nesse sentido, a Física utiliza-se de dois processos: a observação e a experimentação.” (Bonjorno et al. 1997, p. 16) Você concorda com a afirmação acima? Justifique sua resposta	Quarta, 03/10/2007, 11:11:51

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
Re: Questão 2	Aluno 6	Não concordo, pois trata-se de uma concepção empirista-indutivista, onde a experiência é a única fonte de validação do conhecimento. Penso ser uma posição "descartiana", "tudo o que aparece como complexo deve ser dividido em tantas partes simples quanto possíveis, pois a razão, ao focar um problema perfeitamente delimitado, tem mais condições de resolvê-lo do que se encarar algo composto de várias maneiras. A simplificação do ponto de vista do pensamento se afirma como uma regra lógica. Terceiro, uma vez feito esse processo de simplificação, ele deve seguir um ordenamento, de modo que a remontagem para o composto ou complexo possa ser feita sem desvios, que prejudicariam a verdade almejada." (Descartes: Discurso do método). Mas segundo Bunge, "relegando o uso de teorias e modelos não é possível avançar em profundidade somente em superfície na produção do conhecimento.	Quarta, 03/10/2007, 13:12:32 Relevante
Re: Re: Questão 2	Aluno 8	Aluno 6, não entendi a citação de Bunge que colocas no final da resposta.	Quinta, 04/10/2007, 16:01:51 Relevante
Re: Re: Re: Questão 2	Aluno 6	Aluno 8, penso que o Bunge quis dizer que a produção do conhecimento será muito superficial, se o cientista relegar o uso de teorias e modelos. Ele afirma que: "Converter coisas concretas em imagens conceituais cada vez mais ricas e expandi-las em modelos teóricos progressivamente complexos e cada vez mais fiéis aos fatos, é o único método efetivo para apreender a realidade pelo pensamento."	Quinta, 04/10/2007, 21:19:58 Relevante
Re: Questão 2	Aluno 2	O conhecimento científico não desenvolve-se inicialmente pelos nossos olhos, mas sim pelo nosso cérebro. Quem conhece a história e a evolução da Física ao longo dos anos não consegue permanecer pensando que o processo de progresso da Ciência é a observação e a experimentação. É evidente que esses dois processos fazem parte, mas não são os constituintes únicos nem primários do "método científico". Será que Newton viu mesmo uma maçã caindo para depois desenvolver suas leis? Einstein viajou à velocidade da luz ou viu alguém fazê-lo para chegar à relatividade geral? Quem já observou um elétron? Ou um quark? No entanto, grande parte dos modelos e das teorias científicas aceitas hoje utilizam-se (ou utilizaram-se) dessas idéias para o progresso da Ciência. Além disso, como bem sabemos, cientistas estão em busca do gráviton, que nunca foi observado, mas já possui toda uma teoria "à sua espera". Creio que esse é um bom exemplo de que, para progredir a Ciência, os modelos e as teorias estão à frente da experimentação e da observação.	Quinta, 04/10/2007, 15:46:41 Muito Relevante
Re: Re: Questão 2	Aluno 8	É isso Aluno 2, disseste tudo!	Quinta, 04/10/2007, 15:58:20 Pouco Relevante
Re: Questão 2	Aluno 8	Sabemos que nem sempre a ordem estabelecida pelo "método científico" tem sido seguida no desenvolvimento da Ciência. Uma ordem interessante, ditada pelo bom-senso, é começar pelo mais simples e mover-se na direção da maior	Quinta, 04/10/2007, 15:56:34 Relevante

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		complexidade, na busca de formulações, soluções e explicações simples e elegantes. Eu incluo a teorização, além da observação e experimentação, porque é através dela que o conhecimento é socializado com os pares, que podem contribuir com novas perspectivas, bem como é assim, ao teorizar, que o pesquisador pode confrontar-se com suas próprias conclusões e com as limitações destas.	
Re: Questão 2	Aluno 13	Concordo que o primeiro processo é mesmo o da observação. Relacionamos um fenômeno a alguma coisa que nos seja familiar para obter um quadro mental ou visual do que acontece. Mas penso que, antes da experimentação, exista um outro processo que é o de formular hipóteses e, aí, testá-las através da experimentação. Portanto, concordei em parte com que o foi escrito por Bonjorno e Clinton.	Sábado, 06/10/2007, 05:01:53 Relevante
Re: Questão 2	Aluno 4	Não concordo, pois o método da Ciência não se baseia apenas na observação e experimentação, o próprio A. Einstein elaborou sua teoria da Relatividade usando a intuição. Diz-se que quando era jovem se questionava sobre o que ele veria se ele viajasse à velocidade da luz olhando para um espelho.	Domingo, 07/10/2007, 01:54:18 Relevante
Re: Questão 2	Aluno 15	Na pesquisa de um fenômeno, ou das leis, não é necessário observação e experimentação, será que Aristóteles nos primórdios do pensamento científico necessitava de experimentação? Se os dois processos sempre precisassem estar vinculados, teríamos a Física teórica?	Domingo, 07/10/2007, 11:53:19 Relevância Média

Fórum de discussão 3

TABELA D.3 – Participação dos alunos no Fórum de discussão 3.

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
Questão 3	Professor	A questão 3 não foi pensada para ser discutida da forma como as anteriores. Ela se parece mais com uma tarefa. Assim, cada participante deve propor uma situação-problema em Física, enunciar uma questão-foco interessante relacionada à mesma, e discutir que idealizações poderiam ser feitas para tratar o problema a fim de responder a questão-foco proposta. OBS: Obviamente, não devem ser propostas situações-problema da Tarefa 2.	Quarta, 10/10/2007, 16:15:21
Re: Questão 3	Aluno 2	Situação-problema: um balão de balonismo subindo. Questão-foco: considerando P o peso de duas pessoas mais o da gôndola e d a densidade do ar dentro do balão, qual é o volume mínimo do balão de gás para suspendê-lo do chão? Idealizações: a pressão atmosférica e a densidade do ar não se alteram com a altitude, despreza-se a resistência do ar, considera-se a gôndola como uma partícula e despreza-se o peso do balão. Também considera-se o peso total e o empuxo constantes	Domingo, 14/10/2007, 19:45:30 Muito Relevante

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		durante a subida.	
Re: Questão 3	Aluno 6	Entre as placas A e B da figura estabelece-se um campo elétrico uniforme de intensidade $E = 100$ V/m. Sendo de 8 cm a distância entre as placas, determine a d.d.p. entre elas. Idealizações: A e B são placas paralelas (armaduras num condensador) de mesma área, carregadas de sinais contrários e mesmo valor absoluto Q ; $Q1$ e $Q2$ são cargas puntiformes; os vetores paralelos representam as linhas de força; U é um gerador; sentido da corrente; e campo elétrico uniforme.	Domingo, 14/10/2007, 19:47:32 Pouco Relevante
Re: Re: Questão 3	Professor	Caro Aluno 6, estás descrevendo o sistema com todos os seus referentes, relações, variáveis e parâmetros e não estás salientando as idealizações utilizadas para tratar o problema de forma simplificada. Cuidado!	Segunda, 15/10/2007, 11:15:41
Re: Re: Re: Questão 3	Aluno 6	Professor! Peço, então que me orientes a respeito, pois acho que a ficha ainda não caiu.	Segunda, 15/10/2007, 11:28:41 Não Relevante
Re: Questão 3	Aluno 4	Situação-problema: Movimento das pás de um ventilador girando com velocidade angular constante. Questões-foco: Qual a velocidade linear de um ponto qualquer das pás? Qual a aceleração centrípeta de qualquer ponto das pás? Modelo Científico: Considerando cada ponto da pá como um objeto pontual preso em uma haste inextensível e que não sofra atrito com o ar, podemos usar a cinemática para esta situação-problema.	Segunda, 15/10/2007, 00:04:14 Muito Relevante
Re: Questão 3	Aluno 13	Situação-problema: Um corpo pendurado numa mola. Questões-foco: Qual a relação de proporcionalidade entre a força aplicada pelo corpo e a deformação causada na mola? Como você transformaria uma mola num dinamômetro (instrumento que mede forças)? Modelo científico: Comportamento mecânico dos sistemas elásticos (Teoria da elasticidade). Idealizações: Desconsiderar a massa da mola. Desprezar o movimento oscilatório da mola.	Terça, 16/10/2007, 06:18:02 Não Relevante
Re: Re: Questão 3	Professor	Caro Aluno 13, veja se entendi o que queres dizer: gostarias de calcular a constante elástica da mola. Se for isto, não propusestes um modelo científico adequado.	Terça, 16/10/2007, 21:11:52
Re: Questão 3	Aluno 5	Situação problema: Um menino, ao andar distraído pela rua, chuta sem querer uma pedra com uma força. A pedra permanece na mesma posição inicial. Questão-foco: Utilizando os seus conhecimentos de dinâmica responda: Por que o menino sentiu dor no pé em que chutou a pedra? Idealizações: sistema isolado: pé-pedra; não foi considerado o esforço muscular; o menino está descalço; sistema de partículas pontuais; evento	Segunda, 15/10/2007, 20:16:20 Relevância Média

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		ocorre no vácuo; e o pé do menino faz apenas um movimento de translação.	
Re: Questão 3	Aluno 15	Situação-problema: Numa vasilha, contento 200 g de água a 60 °C, colocamos uma massa de 120 g de gelo à -10°C. Qual a temperatura de equilíbrio? Idealização: Não estamos considerando perdas de energia térmica para o ambiente ao considerarmos o sistema isolado.	Segunda, 22/10/2007, 13:37:39 Relevante
Re: Questão 3	Aluno 8	Situação-problema: Variação da pressão atmosférica com a altitude e suas conseqüências. Questão-foco: Calcule a diferença de pressão entre uma cidade <i>A</i> ao nível do mar para outra cidade <i>B</i> situada na altitude 2000 m. Que alterações você perceberia ao deslocar-se da cidade <i>A</i> para a cidade <i>B</i> ? Como os atletas enfrentam os efeitos da altitude? Em que cidade é mais difícil cozinhar? Por quê?*	Segunda, 22/10/2007, 13:37:39 Pouco relevante
Re: Re Questão 3	Professor	Caro Aluno 8, não consigo imaginar o fenômeno da variação da pressão atmosférica com a altitude sem pensar na variação da densidade do ar. Ou seja, supor que não haja variação da densidade do ar é supor que a variação da pressão atmosférica não ocorre.	Sexta, 26/10/2007, 12:26:52

Fórum de discussão 4

TABELA D.4 – Participação dos alunos no Fórum de discussão 4.

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
Questão 4	Professor	A questão 4 foi pensada como uma tarefa, também. Assim, cada participante deve pesquisar, nos livros de ensino médio, citações que estejam intimamente relacionadas com o que vimos até agora sobre modelos científicos e, então, comentá-las. OBS: Cada participante deve comentar, no mínimo, duas citações pesquisadas nos livros de ensino médio. Deve também, obviamente, indicar a referência de cada citação.	Quinta, 11/10/2007, 11:24:47
Re: Questão 4	Aluno 1	Estive lendo o livro "Física Completa" autor Regina Azenha Bonjorno, José Roberto Bonjorno Valter Bonjorno, volume único, editora FTD S.A. No capítulo 9, o autor trata sobre movimento uniforme e cita alguns exemplos como: uma gota d'água descendo por um tubo cheio de óleo, um ciclista em velocidade constante, a viagem de uma nave interplanetária, a subida ou descida de uma escada rolante. Assim que o autor cita estes	Quinta, 11/10/2007, 12:00:51 Pouco Relevante

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		exemplos para descrever o movimento uniforme, ao mesmo tempo ele reforça a idéia de que na prática os movimentos não são perfeitamente uniformes.	
Re: Re: Questão 4	Professor	Caro Aluno 1, quero que tragas citações sobre modelos científicos e não sobre situações-problema. Dica: toda citação deve ser apresentada entre aspas. Além disso, não fizestes nenhum comentário.	Sábado, 13/10/2007, 17:22:16
Re: Questão 4	Aluno 17	No livro Física do Autor Paraná, na página 6, do manual do professor, ao relatar o que o conhecimento de Física deve propiciar aos alunos ele faz uma referência à maneira que a Física lida com o mundo e, assim define um modelo (ou pelo menos uma parte): "A Física tem uma maneira própria de lidar com o mundo, que se expressa não só através da forma como representa, descreve e escreve o real, mas, sobretudo, na busca de regularidades, na conceituação e quantificação de grandezas, na investigação de fenômenos, no tipo de síntese que promove."	Sábado, 13/10/2007, 21:52:00 Pouco Relevante
Re: Questão 4	Aluno 6	Modelos explicativos e representativos: conhecer modelos físicos microscópicos para adquirir uma compreensão mais profunda dos fenômenos e utilizá-los na análise de situações-problema; interpretar e fazer uso de modelos explicativos reconhecendo suas condições de aplicação; elaborar modelos simplificados de determinadas situações com os quais seja possível levantar hipóteses e fazer previsões. Comentários: O autor, por exemplo, cita a utilização de modelos microscópicos do calor para explicar as propriedades térmicas dos materiais ou modelos da constituição da matéria para explicar a absorção da luz e as cores dos objetos. Cita, também, a utilização de modelo do olho humano para compreender os defeitos visuais e suas lentes corretoras. Gaspar, Alberto. Física, volume único: livro do professor / Alberto Gaspar; ilustrações Sidinei Moura, Exata, Paulo Manzi. -- 1. ed. -- São Paulo, Ática, 2005. Pág. 12	Domingo, 14/10/2007, 19:17:34 Relevante
Re: Questão 4	Aluno 2	1) Do livro Física - Mecânica - vol. 1 - Alberto Gaspar: "Em geral, físicos recorrem a modelos para poder desenvolver o seu trabalho. A forma como entendemos a estrutura da matéria, composta por átomos, elétrons, prótons, nêutrons e outras partículas distribuídas em núcleos ou orbitais, é um modelo elaborado pelos físicos e químicos. (...) É claro que os modelos, como as leis e os princípios, também são provisórios e sujeitos a reformulações. (...) Essa é uma outra idéia de modelo muito utilizada em Física - a simplificação de determinada situação ou problema, desconsiderando os aspectos não relevantes ou desprezíveis."	Domingo, 14/10/2007, 21:08:09 Muito Relevante

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		<p>Comentário: Entendo que o autor compreende bem a idéia de modelos na Física. Ele afirma que os físicos recorrem a modelos para desenvolver a Ciência - e bem sabemos que toda a Física que ensinamos para o ensino médio é uma modelagem simplificada da realidade - e mesmo trabalhando com esses modelos idealizados é possível dar uma boa idéia aos alunos sobre o comportamento da natureza. O autor também afirma que os modelos são provisórios e reformuláveis. Ponto para ele. Além de evoluírem com o tempo, acrescento que os modelos são pensados de acordo com as situações a serem analisadas, não tendo apenas um modelo para analisar a luz, os movimentos, etc. E aí encaixo a última parte da citação: que os modelos desconsideram aspectos irrelevantes ou desprezíveis. Nos modelos realmente desprezamos o que pode ser desprezado e tudo aquilo que não fará tanta diferença no resultado final desejado. Não que essas coisas sejam totalmente sem importância, mas elas não alterarão significativamente a questão que procuro responder.</p> <p>2) Do livro Curso de Física - vol. 2 - Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga:</p> <p>"...lendo com atenção os textos de cada capítulo, discutindo com seus colegas e procurando realizar as atividades sugeridas, esperamos que, ao final deste curso, você tenha conseguido compreender as leis fundamentais da Física, percebendo que elas representam modelos que procuram traduzir a harmonia e a organização presentes na natureza. Esta visão, possivelmente, fará crescer dentro de você o amor e o respeito pelas coisas e fatos do mundo em que vivemos."</p> <p>Comentário: Os autores apresentam, assim, a Física aos alunos no início do livro. De forma bem sucinta, talvez não muito explícita, eles tentam mostrar ao estudante que as leis e princípios da Física são modelos que tentam agregar idéias a fatos e à organização da natureza. Não fica muito claro a idéia de modelo como uma representação simplificada da realidade, nem da possível existência de mais de um modelo para descrever um fenômeno, nem da "reformulabilidade" dessas idealizações. Entretanto, recorro que em diversos capítulos os autores tecem comentários sobre a matéria e nesses comentários eles mostram algumas aproximações feitas para utilizar determinada fórmula ou ter-se determinado fenômeno. Pelo menos eles citaram que as leis e os princípios da Física são modelos (mesmo não tendo dado muita ênfase a isso) e relembram ao longo do livro algumas aproximações e desprezos realizados.</p>	
Re: Re: Questão 4	Professor	Caro Aluno 2, excelente as citações e os comentários. Te parabenoizo duas vezes hoje. Uma pela tua pesquisa nos livros e a outra pelo nosso dia.	Segunda, 15/10/2007, 11:06:02
Re: Questão 4	Aluno 4	No livro FÍSICA 1, dos autores Fernando Cabral e Alexandre Lago, na seção sobre os movimentos acelerados o autor diz:	Domingo, 14/10/2007, 23:47:58

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		<p>"Em muitos casos, a aceleração também pode ser variável. Para simplificar a análise desses movimentos, definimos a aceleração média em determinado intervalo de tempo, considerando apenas os valores da velocidade nos instantes inicial e final."</p> <p>Nesta citação fica claro a intenção de idealização dos autores. No mesmo livro na seção sobre aplicações das Leis de Newton os autores após apresentar um enunciado sobre um tobogã comentam em relação ao raciocínio que o estudante deve ter nesta situação da seguinte maneira:</p> <p>"O tobogã aquático pode ser considerado como um plano inclinado sem atrito."</p> <p>Este é um segundo caso, porém os autores não mencionam quais as formas de atrito que são deixadas de ser consideradas. O interessante é que desde o início do livro, os autores não falam das idealizações que fazem no livro! E nem o que elas representam dentro dos efeitos nos modelos estudados.</p>	Muito Relevante
Re: Questão 4	Aluno 13	<p>"As teorias ou modelos propostos para interpretar um fenômeno são substituídos de tempos em tempos. As idéias sobre a constituição da matéria, por exemplo, têm passado por diversas evoluções, permitindo-nos conhecer, cada vez com maior profundidade a estrutura dos objetos".</p> <p>A Física no campo da Ciência, Cap.1, Antonio Máximo e Beatriz Alvarenga.</p> <p>Comentário: Vem de encontro às nossas discussões sobre os modelos científicos. No processo de construção do conhecimento os cientistas usam analogias, situações, representações idealizações, sempre com o intuito de conceber ou transformar idéias.</p> <p>"Se formos ao dicionário buscar o significado da palavra modelo, vamos encontrar, entre outros, o seguinte:"conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou comportamento de um sistema físico pelo qual se procura explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades do sistema".Um aspecto interessante dessa explicação é que os modelos são concebidos no interior de teorias".</p> <p>Física 3 – GREF.</p> <p>Comentário: E eu ainda diria que a teoria é mais abrangente, mais detalhada, procura resolver e explicar um conjunto de situações, muitas vezes com precisão matemática, ao contrário de modelo que é algo mais simples.</p>	Segunda, 15/10/2007, 00:19:38 Muito Relevante
Re: Questão 4	Aluno 5	<p>Texto 01. Os autores do livro iniciam o texto questionando:</p> <p>"A Física como Construção Humana. Você deve ter notado que, ao lançar um objeto, ele</p>	Segunda, 15/10/2007, 20:18:18 Pouco Relevante

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		<p>imediatamente cai em direção ao solo. Mas por que isso ocorre? Mostrando que desde a antiguidade viemos questionando o fenômeno e sendo apresentada várias respostas diferentes, Aristóteles filósofo grego que viveu no século IV a.C - dizia que os objetos caem no solo porque têm uma “tendência natural” de ocupar o centro da Terra..... Filipono, pensador do século V d.C, propôs a teoria do “impetus”, para explicar a queda dos corpos. Para ele, quando jogamos um objeto, aplicamos um “impetus” (espécie de impulso) que se esvai com o tempo, até o objeto cair. Finalmente, quase 1300 anos depois de Filipono, Newton (1642-1727) propôs a teoria gravitacional, na qual dizia que os objetos caem porque há uma “atração entre massas” muito semelhante á atração de um prego por um ímã: a massa da Terra atrai fortemente a massa dos objetos, de tal maneira que os objetos sempre cairão ao chão. Qual deles é o certo? A resposta mais correta é todos, porque antes adotávamos as explicações de Aristóteles; hoje adotamos as idéias de Newton, mas não sabemos que explicações que surgirão no futuro. O que podemos prever é que, independente do surgimento de novas explicações, os objetos continuarão a cair.”</p> <p>PINTO A. C.; LEITE C., SILVA J. A. Física Ensino Médio C. Projeto Escola Cidadania: São Paulo: Editora do Brasil, 2005; v.1; p. 12.</p> <p>Percebemos no texto que a Ciência, no caso da Física, como construção humana. Há um questionamento inicial, formulação de hipóteses a partir de observações, e a utilização de analogias com o intuito de conceber ou transformar idéias (idealização). Mostra que as explicações dadas pelos cientistas, são de certa forma imperfeitas e mutáveis não passando de representações simbólicas de fenômenos reais.</p> <p>Texto 02. “O que é a Física? Iniciaremos o estudo da Física definindo seu campo de atuação e falando sobre o seu método. Examinaremos quais são os fenômenos de que a Física se ocupa e apresentaremos o método experimental, que permite a essa Ciência descobrir as leis da natureza por meio de observações, hipóteses e experiências.”</p> <p>AMALDI, U. Imagens da Física: Idéias e as experiências do Pêndulo aos Quarks -: São Paul, 1995, volume único, p. 2.</p> <p>O que o texto enfatiza que a Física é uma Ciência básica preocupada em descrever, explicar e predizer algo sobre a realidade.</p>	

Fórum de discussão 5

TABELA D.5 – Participação dos alunos no Fórum de discussão 5.

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
Questão 5	Professor	<p>Caros participantes: segue abaixo o endereço para vocês acessarem a simulação computacional a ser trabalhada:</p> <p>http://www.pgie.ufrgs.br/projetos/arca/labfisica/loop.swf</p> <p>Nesta simulação computacional, vocês devem identificar: a) o fenômeno de interesse; b) a situação-problema; c) as questões-foco; d) as idealizações (e/ou aproximações); e) os referentes; f) as relações, as variáveis e os parâmetros utilizados na resolução do problema.</p> <p>Observação: a simulação é iniciada quando se clica sobre a figura do pêndulo na parte inferior à esquerda.</p>	<p>Quinta, 01/11/2007, 08:21:11</p>
Re: Questão 5	Aluno 4	<p>a) Conservação de Energia.</p> <p>b) Movimento de um corpo em um tobogã com <i>loop</i>.</p> <p>c) Qual a altura mínima para soltar o corpo a fim de completar o <i>loop</i>? Qual a velocidade mínima para completar o <i>loop</i>?</p> <p>d) São desprezadas as forças dissipativas (atrito com a superfície e o ar), e o objeto passa a ser pontual.</p> <p>e) <i>Loop</i>, o skatista e a Terra.</p> <p>f) Relações: Quanto maior R maior h (no caso $h = 2,5 R$), o h será sempre duas vezes e meia maior que o RAIIO do <i>loop</i>. $Vel.min. = (g.R)^{1/2}$, ou seja, quanto maior o RAIIO maior será a velocidade, porém, a velocidade é diretamente proporcional à raiz quadrada de R.</p> <p>Variáveis: V, R e h.</p> <p>Parâmetros: g.</p>	<p>Quinta, 01/11/2007, 18:00:36</p> <p>Relevante</p>
Re: Re: Questão 5	Professor	<p>Caro Aluno 4, não vê nada de errado com esta simulação?</p>	<p>Quarta, 14/11/2007, 08:33:40</p>
Re: Questão 5	Aluno 7	<p>a) Conservação da Energia Mecânica. b) Movimento de um skatista que desce um plano inclinado e se direciona a um “loop” e realiza a volta ou não. c) Qual a altura mínima para que o skatista complete o <i>loop</i>? Qual a velocidade mínima para fazer o <i>loop</i>? O que pode acontecer se a altura for menor do que a altura mínima? A sensação de peso sentida pelo skatista depende da força que o pressiona contra a pista. Como se comporta esta força no ponto mais alto do <i>loop</i> em relação à altura inicial do movimento? d) Desconsiderou-se a ação de forças dissipativas e se considerou o skatista como um ponto material. e) O skatista com o skate, a pista com o <i>loop</i>, a</p>	<p>Quinta, 01/11/2007, 20:31:22</p> <p>Relevante</p>

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		<p>Terra com a gravidade. f) As relações utilizadas foram:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $F_c = (mv^2)/R$; • $F_c = P = mg$; • $U = mgH$; • $K = (mv^2)/2$; • $E = K + U$; <p>As variáveis foram:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Velocidade v; • Altura H; • Energias cinética K e potencial U. <p>Os parâmetros foram:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A aceleração da gravidade g; • O raio do <i>loop</i> R. 	
Re: Re: Questão 5	Aluno 7	Fiquei em dúvida se a massa m é um parâmetro.	<p>Quinta, 01/11/2007, 20:58:35</p> <p>Relevante</p>
Re: Re: Re: Questão 5	Aluno 6	Olá, Aluno 7: penso que sim, pois o skatista, não perde nem ganha peso durante o percurso. E penso que esteja sendo idealizado como uma partícula.	<p>Domingo, 04/11/2007, 19:21:07</p> <p>Relevante</p>
Re: Re: Re: Questão 5	Professor	Por quê?	<p>Quarta, 14/11/2007, 08:39:58</p>
Re: Re: Questão 5	Aluno 7	<p>Na pergunta: "A sensação de peso sentida pelo skatista depende da força que o pressiona contra a pista. Como se comporta esta força no ponto mais alto do <i>loop</i> em relação à altura inicial do movimento?"</p> <p>Entenda-se: A sensação de "peso" sentida pelo skatista depende da força que o pressiona contra a PISTA. Como se comporta esta força no ponto mais alto do <i>loop</i> em relação à altura inicial do movimento?</p>	<p>Quinta, 01/11/2007, 21:02:38</p> <p>Relevante</p>
Re: Re: Re: Questão 5	Aluno 6	Penso que enquanto a F_n for diferente de zero, o "cara" comprime o skate e não cai.	<p>Domingo, 04/11/2007, 19:26:12</p> <p>Relevante</p>
Re: Re: Questão 5	Professor	Caro Aluno 7, não vê nada de errado com esta simulação?	<p>Quarta, 14/11/2007, 08:38:25</p>
Re: Re: Re: Questão 5	Aluno 7	Bom, depois de observar algumas vezes, para mim parece que não se trata de uma simulação e sim de uma animação. Acredito que simulação deve considerar as relações, descritas por uma teoria, entre as grandezas envolvidas para simular uma determinada situação. O que não parece estar acontecendo nesta animação. Pois neste movimento é possível observar a mudança na velocidade do corpo, mesmo sem medições. E nesta animação a velocidade parece ser constante. Será este o erro?	<p>Quarta, 14/11/2007, 09:33:38</p> <p>Não Analisada</p>
Re: Questão 5	Aluno 1	<p>a) Princípio da conservação da energia.</p> <p>b) Um skatista que desliza (rolamento) em um plano inclinado partindo do repouso em direção ao <i>loop</i>.</p> <p>c) A partir de que ponto o skatista deve iniciar seu movimento para que atinja o ponto máximo do <i>loop</i> sem cair?</p>	<p>Segunda, 05/11/2007, 14:19:19</p> <p>Relevante</p>

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		<p>d) São desprezados: efeitos do ar, perfil do skatista (aerodinâmica) e a energia cinética transformada em calor pelo atrito.</p> <p>e) Terra, skatista e loop.</p> <p>f) $E_m = E_c + E_p$, sendo $E_c = mv^2/2$ e $E_p = mgh$, dessa relação obtivemos $h = 2,5 r$. Considerando como constante 2,5, a partir daí podemos estabelecer relações com as variáveis R e H. As grandezas que modificam durante o movimento em questão seriam raio, a velocidade e a altura. Apenas a gravidade passaria a ser constante, sendo o que poderíamos utilizar como parâmetro da nossa situação-problema.</p>	
Re: Re: Questão 5	Aluno 7	<p>A dúvida em considerar a massa m do skatista como parâmetro reside no fato de que para responder as questões-foco pensei não precisar saber seu valor. Mas, tentando responder a questão que fiz a respeito da "força peso aparente" sentida pelo skatista no ponto mais alto do <i>loop</i>, constatei que esta força depende da massa do skatista. Portanto para o meu caso ela é um parâmetro. Mas permanece a dúvida, se eu não tivesse feito esta pergunta, a massa seria um parâmetro? Ou seja, se não preciso saber, ou determinar um valor para uma grandeza na resolução de uma questão-foco, essa grandeza pode ser considerada um parâmetro?</p>	<p>Terça, 06/11/2007, 17:45:36</p> <p>Relevante</p>
Re: Re: Re: Questão 5	Aluno 7	<p>Em relação à força sentida pelo skatista: $fc = N + mg = mv^2/r$, onde fc é a força centrípeta e N é a força direcionada para o centro do <i>loop</i> que a pista faz sobre o skatista durante o <i>loop</i> (força normal).</p> <p>Pelo princípio de conservação de energia temos, para o ponto mais alto do <i>loop</i>: $v^2 = 2g(ho-2r)$, onde v é a velocidade do skatista, ho é a altura de partida e r é o raio do <i>loop</i>. Assim: $N = m[2g(ho-2r)/r] - mg$ $N = mg\{ [(2ho-4r)/r] - 1 \}$</p> <p>Percebi também que a altura inicial ho é um parâmetro também, enquanto que a altura h é uma variável.</p>	<p>Terça, 06/11/2007, 18:07:26</p> <p>Relevante</p>
Re: Re: Re: Questão 5	Aluno 6	<p>O valor da velocidade mínima não depende da massa do skatista; pois se essa velocidade dependesse da massa, haveria o perigo de ao atingir o ponto mais alto, o "cara" cair.</p>	<p>Sexta, 09/11/2007, 15:19:37</p> <p>Relevante</p>
Re: Re: Questão 5	Professor	<p>Caro Aluno 1, não vê nenhum problema com esta simulação?</p>	<p>Quarta, 14/11/2007, 08:42:46</p>
Re: Questão 5	Aluno 6	<p>a) o fenômeno de interesse: Conservação de energia.</p> <p>b) a situação-problema: Um skatista, fazendo um <i>loop</i>, partindo do repouso de uma pista.</p> <p>c) as questões-foco: O skatista despencaria, quando atingisse o ponto mais alto do <i>loop</i>? Não, por causa da inércia nesse ponto, por quem está dentro de um sistema em rotação ou devido à velocidade do skatista. De que ponto o skatista deve começar o movimento? Deve partir da</p>	<p>Sexta, 09/11/2007, 15:24:40</p> <p>Relevante</p>

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		<p>altura h_2, pois, desprezando a resistência do ar e o atrito, numa situação em que $g = 10\text{m/s}^2$, raio = 2 m: $h = 5\text{ m}$ ($gh = mv^2/2 + gh$); isso mostra que a altura é o dobro e meio do raio. Qual a velocidade do skatista, para realizar o <i>looping</i>? <i>Vel.min.</i> = 20 m/s, de: $V^2 = Rg$.</p> <p>d) as idealizações (e/ou aproximações): Despreza-se: a energia cinética, efeitos do ar, conjunto (skatista/skate).</p> <p>e) os referentes: <i>Loop</i>, o skatista/skate e a Terra.</p> <p>f) as relações: A cada vez que o skatista atinge o ponto mais alto, a relação válida é: $F_c = F_n + P = mv^2/R$.</p> <p>g) as variáveis e os parâmetros utilizados na resolução do problema: Peso (g) é o parâmetro. A velocidade e altura, as variáveis.</p>	
Re: Re: Questão 5	Professor	Caro Aluno 6, não vê nenhum problema com esta simulação?	Quarta, 14/11/2007, 08:44:39
Re: Re: Re: Questão 5	Aluno 6	Observei que da altura h_2 e da altura h_3 o skatista consegue realizar o <i>looping</i> sem cair. Mas na posição h_2 , ele já estava em movimento; na posição h_3 ele partia do repouso.	Quarta, 14/11/2007, 15:13:31 Não Relevante
Re: Re: Re: Re: Questão 5	Professor	Aluno 6, preste atenção na trajetória do skatista no <i>loop</i> . O que acontece com ele ao chegar no ponto mais alto? Isto está correto?	Quarta, 14/11/2007, 19:03:16
Protestando	Aluno 13	Gostaria de deixar meu protesto, parodiando um certo programa: tarefas não avaliadas e sem comentários me deixam insegura. Posso estar repetindo os mesmos erros em outras tarefas e, o que é pior, apresentando um projeto final com falhas.	Quarta, 14/11/2007, 03:22:29 Muito Relevante
Re: Protestando	Professor	Cara Aluno 13, tens toda razão, peço desculpas pela demora.	Quarta, 14/11/2007, 08:46:28
Re: Questão 5	Aluno 8	<p>a) o fenômeno de interesse: conservação de energia.</p> <p>b) a situação-problema: o movimento do skatista na rampa + <i>loop</i>.</p> <p>c) as questões-foco: Desconsiderando o atrito, qual é a velocidade mínima que o skatista deve ter na parte mais alta do <i>loop</i> para que possa completá-lo sem cair? Desconsiderando o atrito e conhecido o raio do <i>loop</i>, qual é a altura mínima da qual o skatista deve sair para que consiga completar o <i>loop</i> sem cair? Desprezando o atrito, qual é a influência da distância horizontal entre a rampa e o <i>loop</i>?</p> <p>Considerando a massa do skatista 50 kg e o coef. = 0,2 calcule o trabalho realizado pela força de atrito sobre o skatista, se a base do <i>loop</i> está a 3m do topo da rampa.</p> <p>Tendo em vista o resultado da questão anterior, calcule a altura mínima da rampa para que o skatista possa completar o <i>loop</i> sem cair.</p> <p>d) as idealizações (e/ou aproximações): não há atrito entre a pista e o skatista; a influência do ar</p>	Segunda, 19/11/2007, 14:12:54 Não Analisada

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		<p>é desprezível, ou seja, não há atrito ente skatista e o ar; o <i>loop</i> tem raio constante, ou seja, é perfeitamente circular. o skatista não varia seu centro de massa durante o movimento.</p> <p>e) os referentes: o skatista; o seu peso; o raio do <i>loop</i> e a Terra.</p> <p>f) as relações, as variáveis e os parâmetros utilizados na resolução do problema.</p> <ul style="list-style-type: none"> • $F_c = P$ • $E_p = E_c$ • $mgh = mv^2/2 + 2mgR$ • $v^2 = gR$ <p>Variável: velocidade v</p> <p>Parâmetros: aceleração da gravidade g, massa do skatista m e o raio do <i>loop</i> R.</p>	
Problema c/ simulação	Aluno 8	Alguém já sabe qual é o problema com a simulação? Tem problema ou é só pega-ratão do prof?	<p>Segunda, 19/11/2007, 14:20:31</p> <p>Não Analisada</p>
Re: Problema c/ simulação	Aluno 6	Aluno 8, penso que o problema está no fato de que maneira o skatista conseguiria fazer o <i>looping</i> "nele mesmo", uma vez que a rampa é uma descida comum.	<p>Segunda, 19/11/2007, 15:25:41</p> <p>Não Analisada</p>

Fórum de discussão de temas livres

TABELA D.6 – Participação dos alunos no fórum de discussão de temas livres.

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
Einstein × Bunge	Aluno 6	Como o Einstein disse que: "Não existe nenhum caminho lógico para a descoberta das leis do universo - o único caminho é a intuição", pergunto: ele não considerou algum modelo? Ele só baseou-se na intuição? Como o Bunge, consideraria esse fato? Uma vez que a teoria da relatividade ainda é aceita.	<p>Terça, 02/10/2007, 16:13:41</p> <p>Relevância Média</p>
Re: Einstein × Bunge	Professor	<p>Quando Einstein pronunciou estas palavras estava, na verdade, fazendo uma crítica explícita à doutrina empirista-indutivista que consiste em acreditar que a construção do conhecimento científico provém inteiramente da observação dos fatos. Vejamos outras palavras de Einstein que ilustram este ponto:</p> <p>"Sabemos agora que a Ciência não pode se desenvolver apenas a partir do empirismo; nas construções da Ciência, precisamos da invenção livre, que só a posteriori pode ser confrontada com a experiência para se conhecer sua utilidade. Este fato pode ter escapado às gerações anteriores, para as quais a criação teórica parecia</p>	<p>Terça, 02/10/2007, 18:36:11</p>

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		desenvolver-se indutivamente a partir do empirismo, sem a criativa influência de uma livre construção de conceitos" (Einstein apud Pais, 1995, p. 14). Certamente, Einstein se valeu de modelos e teorias para a construção da Teoria da Relatividade. Justamente pelo fato de que teorias e modelos são construídos a partir de idéias criativas (e da intuição) que extrapolam a observação dos fatos. Ambos são produto da mente dos cientistas e não da observação natureza. Esta nos coloca problemas que, segundo Bunge, os cientistas resolvem formulando modelos conceituais e às vezes teorias gerais.	
Re: Einstein × Bunge	Aluno 13	Mas, a partir de sua intuição, Einstein construiu modelos utilizando funções e equações diferenciais. Bunge diz que "com a pobre matéria-prima dos sentidos e da intuição" é permitido construir modelos de sistemas. Enquanto a comunidade científica não argumentar contra com provas cabíveis, a teoria da relatividade continuará aceita. Um abraço.	Sábado, 06/10/2007, 04:44:25 Relevante
Re: Re: Einstein × Bunge	Aluno 6	Bingo! Pois me parece, que só através da teoria e do modelo, entramos no mecanicismo. Saudações!	Domingo, 07/10/2007, 22:15:51 Relevância Média
Limitação filosófica	Aluno 6	"Dessa forma, um modelo é uma criação cultural, um "mentefato", destinada a representar uma realidade, ou alguns dos seus aspectos, a fim de torná-los descritíveis qualitativa e quantitativamente e, algumas vezes, observáveis. A existência de modelos jaz na impossibilidade cultural de descrever os objetos com perfeição, esgotando as possibilidades de sua observação. Não sendo transparente para o homem, o mundo se lhe apresenta como um permanente desafio à sua descrição. Essa limitação filosófica de percepção é que permite e exige o aparecimento de modelos 1." Minha dúvida! O que o autor quer dizer com relação a última frase do texto acima: "Essa limitação filosófica de percepção é que permite e exige o aparecimento de modelos 1." O que ele quer dizer com "a limitação filosófica de percepção"? E porque essa limitação filosófica permite o aparecimento de modelos? Fonte: http://www.scielo.br (Instituto Brasileiro de informação em Ciência e tecnologia).	Sexta, 05/10/2007, 17:14:29 Muito Relevante
Re: Limitação filosófica	Professor	Caro Aluno 6, penso que podemos definir, grosso modo, filosofia como UMA VISÃO DE MUNDO. Nesse sentido, entendo que diferentes pessoas, com diferentes formações e vivências, concebem o mundo a partir de visões muito particulares, às vezes, incomensuráveis. Pense num físico e num biólogo. Entretanto, todos nós somos limitados (pelos nossos sentidos, inclusive) para perceber o mundo real ou suposto como tal. Por isso, lançamos mão de modelos e	Sexta, 05/10/2007, 18:57:19

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		teorias (ferramentais conceituais) que nos ajudam a dar sentido ao mundo demasiado complexo em que vivemos. Eles são a prova desta insuficiência. Modelar faz parte da vida humana! Entendida (a modelagem) como uma atividade humana sofre a influência de fatores culturais, históricos, etc.	
Re: Limitação filosófica	Aluno 9	<p>Pergunta: O que o autor quer dizer, com relação à última frase do texto acima:</p> <p>"Essa limitação filosófica de percepção é que permite e exige o aparecimento de modelos1. "</p> <p>Aluno 6, acredito que essa limitação filosófica de percepção seja algo como a nossa limitação para o entendimento de todos os fatos que ocorrem num certo sistema que queremos explicar. Logo acredito que hoje essa limitação está cada vez maior, pois estamos olhando para fatores internos e cada vez mais microscópicos e creio eu que as respostas não estão ai, acho no meu modo de ver que essas limitações filosóficas estão aumentando e necessidade de explicações e conseqüentemente modelos para provarmos algo que está muito além de nossos olhos e percepção.</p>	<p>Segunda, 08/10/2007, 00:12:36</p> <p>Relevante</p>
Re: Re: Limitação filosófica	Aluno 6	Olá Aluno 9! Mas, "modelos para provarmos algo que está muito além de nossos olhos e percepção", não parece algo místico? ou muito subjetivo?	<p>Segunda, 08/10/2007, 15:54:44</p> <p>Relevante</p>
Re: Re: Re: Limitação filosófica	Aluno 9	Místico? Isso não é Ciência. Falo de observar fatos da natureza fazendo analogia com modelos de dimensões maiores.	<p>Quinta, 11/10/2007, 23:26:18</p> <p>Relevância Média</p>
Tarefa quatro	Aluno 6	A pergunta poderá parecer óbvia para vocês, mas servirá para esclarecer uma dúvida! Sendo a forma de uma partícula, por "definição" é pontual! Ou seja, ela não tem dimensão..., podemos tratar a "carreta" e a "bola", como partículas pontuais? Isto é, se tratarmos a partícula pontual pela definição, então, a carreta não sofre ações da natureza? Por exemplo, se eu tratar a carreta como uma partícula pontual, então o tamanho da carreta é irrelevante!	<p>Quarta, 10/10/2007, 07:12:46</p> <p>Muito Relevante</p>
Re: Tarefa quatro	Aluno 4	Nós sabemos que sempre que consideramos objetos como partículas pontuais, estamos fazendo aproximações, porém é uma boa aproximação quando o tamanho do objeto em questão é muito menor que, por exemplo, a ponte, se essa condição não for satisfeita a margem de erro cresce muito. Então se analisarmos o deslocamento da carreta de 20 m numa rodovia de 200 km, ela pode ser considerada como uma partícula e seu tamanho poderia ser irrelevante, mesmo sofrendo ação da natureza, e estes efeitos acabam sendo muito pequenos.	<p>Quarta, 10/10/2007, 12:33:24</p> <p>Muito Relevante</p>
Aula de hoje!	Aluno 6	Professor, hoje na conferência, falei que todos os dias fazemos isso em sala de aula, isto é, trabalhamos com modelos, com aproximações, com idealizações, mas penso nunca ter darmos a devida atenção a essas questões, fazendo isso de maneira, digamos, um pouco aleatória, e usando de nossa intuição, percepção e experiência de vida, "tocamos as aulas", enfatizando mais "a	<p>Quarta, 10/10/2007, 21:44:21</p> <p>Relevante</p>

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		lógica" dos fenômenos físicos através da matemática e da geometria. Então, percebo agora a importância desses temas, para melhorar nossas aproximações, nossos modelos, nossas idealizações a respeito dos temas que o ensino da Física nos propõe e para darmos mais sentidos as nossas "experiências pessoais", isto é, aprimorando nossas vivências.	
Re: Aula de hoje!	Aluno 6	Onde escrevi: "matemática e geometria", leia-se, "álgebra e geometria"!	Quarta, 10/10/2007, 21:48:27 Pouco Relevante
Parâmetro ou variável?	Aluno 6	No caso de colisões, em sistemas não isolados, elas podem ocorrer num curto intervalo de tempo e envolvem forças internas muito mais intensas do que as forças externas, ocorrendo resultante não-nula. Esse intervalo de tempo pode ser tratado como parâmetro ou como variável?	Quarta, 17/10/2007, 19:23:13 Pouco Relevante
Re: Parâmetro ou variável?	Professor	Caro Aluno 6, confesso que não entendi a tua questão. Falas em sistema não isolado e ao mesmo tempo em forças internas e externas.	Sexta, 26/10/2007, 12:14:36
Re: Re: Parâmetro ou variável?	Aluno 6	Vou tentar ser mais claro. As colisões, em geral ocorrem num curto intervalo de tempo. Assim, podemos dizer que a quantidade de movimento total um pouco antes da colisão é aproximadamente igual à quantidade de movimento total um pouco depois da colisão. A pergunta é a seguinte: "esse intervalo de tempo" no qual ocorre a colisão, pode ser considerado como parâmetro ou é uma variável?	Sexta, 26/10/2007, 18:15:42 Não Analisada
Modelos × Indutivismo	Aluno 6	Ao propor uma situação-problema, formular questões-foco interessantes, fazer as idealizações necessárias, selecionar os referentes, as relações, as variáveis e os parâmetros do modelo científico, não estaríamos em consonância com o empirismo-indutivista? Não existe aí, uma linearidade, ao tratarmos um fenômeno, através de modelos?	Sábado, 27/10/2007, 07:15:33 Muito Relevante
Re: Modelos × Indutivismo	Aluno 13	No empirismo-indutivo, a aquisição do conhecimento científico vem da observação e da experimentação entendida como única fonte de validação do conhecimento, não sendo criada nenhuma especulação, nenhuma idealização e nem usada a intuição. E o pior, é que extrapola e generaliza de forma que conduz ao máximo de verdade sobre o fato e/ou evento. A modelagem científica é um processo de buscas e respostas, não sendo rígido nem infalível, fazendo idealizações e a lógica é usada para produzir conhecimento. Penso, portanto, serem processos antagônicos.	Sábado, 27/10/2007, 14:44:17 Muito Relevante
Re: Re: Modelos × Indutivismo	Aluno 6	Concordo com você! Esta foi uma provocação, para dar uma "mexida" no fórum, que me parece muito parado. Penso que poderíamos estar trocando informações, trocando idéias, tirando dúvidas, afinal, para mim esta questão de modelagem é interessante, pois sempre tratei a Física através de algoritmos matemáticos (não, que sejam dispensáveis!), sempre me pautei pelo método científico cartesiano.	Sábado, 27/10/2007, 18:09:20 Relevante
Re: Re: Re: Modelos × Indutivismo	Aluno 13	Olá, Aluno 6! Não concordo que colocar o aluno frente a uma simulação computacional sem o encaminhamento das devidas idealizações é tão prejudicial quanto usar o empirismo-indutivo	Domingo, 28/10/2007, 14:48:59 Muito Relevante

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		levando-o também a generalizações? Portanto, o professor é o grande responsável pela aplicação de qualquer ferramenta. Mais uma provocação a espera de mais opiniões! Bom domingo!	
Re: Re: Re: Re: Modelos × Indutivismo	Aluno 6	Penso que sim, pois somente a simulação computacional sem um embasamento teórico anterior, não oferece "subsídios" para que os alunos possam estabelecer relações cognitivas, para resolverem um problema particular. Pois através de modelos específicos com seus parâmetros, variáveis, referentes e relações matemáticas, espera-se que o aluno tenha uma aprendizagem significativa.	Domingo, 28/10/2007, 20:03:39 Relevante
Indutivismo × modelos	Aluno 8	Concordo com o Aluno 13 quando ele enfatiza a responsabilidade do professor no uso de quaisquer ferramentas, pois embora utilizando ferramentas computacionais ou mídias, se o professor mantiver postura pedagógica rígida, se não acolher as dúvidas do estudante como importantes e seus questionamentos como relevantes, sua ação estará sendo sim equivalente às velhas práticas indutivistas. Assim como o contrário também ocorre: profs sem muitos recursos tecnológicos que conseguem estabelecer com seus alunos dinâmicas frutíferas de investigação da realidade, através da valorização da dúvida e do incentivo à especulação. Também faz parte dessa postura ver o erro como generativo, ou seja, ele gera novas idéias sobre o objeto de estudo e aprende-se com ele, passando a ser encarado como uma fase a ser superada na elaboração do conhecimento.	Segunda, 29/10/2007, 16:43:30 Pouco Relevante
Método dos mínimos quadrados	Aluno 6	Hola! Para acelerar o processo, alguém poderia contextualizar de uma forma mais simples, a questão sobre determinação dos parâmetros da função ajustada (regressão). Ok?	Quarta, 31/10/2007, 14:48:39 Não Analisada
Leitura do espectrômetr o	Aluno 6	Olá, preciso de alguma dica a respeito das leituras do espectrômetro. Algumas observações: em todos os modelos a emissão de raios UV é a que mais se destaca; no modo experiência, não aparecem todas as linhas espectrais; qual a legenda os fótons?; como todas raias estão presentes em todos os modelos (com exceção no modo de experimento), esse é o padrão do átomo do hidrogênio?; essas linhas são a caracterização do átomo de hidrogênio?; a escala no eixo horizontal é a medida da frequência de cada linha espectral?; porque aparecem duas faixas de frequência para a linha espectral cinza? Ou estou falando um monte de bobagens!	Sexta, 16/11/2007, 09:59:08 Não Analisada
Re: Leitura do espectrômetr o	Aluno 13	O que o espectrômetro mostra são as radiações e seus comprimentos de onda, medidas em nm (nanômetro), conforme escala no espectrômetro. As linhas espectrais aparecem sempre da mesma forma, pois o espectro eletromagnético é único. O que diferencia cada simulação é a frequência dos fótons por comprimento de onda (fótons emitted/nm) no átomo de hidrogênio. Os fótons são representados pelas "bolinhas" que aparecem nos diferentes comprimentos de onda, dependendo da energia radiante: menor comprimento de onda, maior frequência e maior energia emitida (lembra do Planck!)	Sexta, 16/11/2007, 09:59:08 Não Analisada

Título	Autor	Mensagem	Postagem/Relevância
		Tomara que possa ter te ajudado. Bom fim-de-semana!	
Re: Re: Leitura do espectômetro	Aluno 6	Valeu Aluno 13!	Domingo, 18/11/2007, 09:17:33 Não Analisada
Expansão e generalização ?	Aluno 6	<p>Professor e todos: é correto pensar a seguinte situação como expansão e generalização de um modelo?</p> <p>Faça a expansão e a generalização do modelo científico.</p> <p>Uma expansão do plano inclinado é possível na aplicação do Teorema de Arquimedes, onde analiticamente teríamos:</p> <p>1) E (empuxo) = Pl (peso do líquido) = ml (massa do líquido).$g \Rightarrow E = dl.Vl.g$</p> <p>2) de $N = P \Rightarrow$ temos para condição de flutuação: $E = P$</p> <p>3) para a aceleração de descida no líquido, desprezadas as resistências, aplicando o princípio fundamental da dinâmica: Pap (peso aparente) = $m.a$</p> <p>Penso que podemos generalizar o princípio fundamental da dinâmica em outros modelos científicos.</p>	Segunda, 19/11/2007, 15:34:35 Não Analisada

APÊNDICE E

Roteiro para Entrevista Final

EF1) Você enxerga alguma aplicação do que foi discutido neste curso para a situação de sala de aula, em nível médio? Você vislumbra alguma estratégia didática capaz de transpor os conceitos abordados neste curso para os seus alunos?

EF2) O que você entende por idealização de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

EF3) O que você entende por aproximação de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

EF4) O que você entende por referente de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

EF5) O que você entende por variável e parâmetro de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

EF6) O que você entende por domínio de validade de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

EF7) O que você entende por grau de precisão de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

EF8) O que você entende por expansão de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

EF9) O que você entende por generalização de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

EF10) O que você entende por modelo científico?