

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
DOUTORADO EM ENSINO DE FÍSICA

**A ESTRATÉGIA DA MODELAGEM DIDÁTICO-CIENTÍFICA REFLEXIVA PARA
A CONCEITUALIZAÇÃO DO REAL NO ENSINO DE FÍSICA[†]**

Rafael Vasques Brandão

Tese realizada sob a orientação do Prof. Dr. Ives Solano Araujo e coorientação da Prof^a. Dr^a. Eliane Angela Veit, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Ives Solano Araujo
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Eliane Angela Veit

Porto Alegre

2012

[†] Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

*Dedico este trabalho a Kátia, Catherine, Sandra, Céres,
Helena, Ana Paula, Pierina e Oswaldina.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

- aos professores Dr. Ives Solano Araujo e Dr^a. Eliane Angela Veit, pela dedicada orientação e ajuda.
- à professora Dr^a. Marta Azucena Pesa, pela contribuição ao desenvolvimento teórico da tese a ser defendida.
- aos professores Dr. Marco Antônio Moreira e Dr. Fernando Lang da Silveira, pela formação como pesquisador em Ensino de Física.
- à professora Dr^a. Fernanda Ostermann, pelas sugestões à redação e à apresentação de algumas ideias.

Meu especial agradecimento a todas as pessoas que colaboraram como sujeitos da pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1. Pesquisas em Ensino de Física à luz da Teoria dos Campos Conceituais	15
2.2. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o Ensino de Ciências	25
2.3. Modelos e modelagem científica no Ensino de Física	28
3. REFERENCIAL TEÓRICO	31
3.1. O realismo científico de Mario Bunge	31
3.2. Modelagem científica na concepção de Mario Bunge	37
3.3. A Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud	46
4. ETAPAS DA PESQUISA	52
4.1. Etapa I - Estudos exploratórios	52
4.1.1. Estudo I - Estudo empírico qualitativo exploratório	52
4.1.2. Estudo II – Estudo empírico quantitativo exploratório	55
4.2. Etapa II - Aprofundamento teórico	57
4.2.1. Estudo III - Estudo teórico integrador	57
4.3. Etapa III – Busca por suporte empírico	59
4.3.1. Enfoque teórico-metodológico dos estudos IV e V	59
4.3.2. Diagrama AVM: uma adaptação do Vê de Gowin para a modelagem computacional	63
4.3.3. Estudo IV - Estudo empírico qualitativo descritivo	66
4.3.4. Estudo V - Estudo empírico qualitativo explanatório	67
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.1. Etapa I	70
5.1.1. Estudo I	70
5.1.2. Estudo II	75
5.2. Etapa II	86
5.2.1. Estudo III	86
5.3. Etapa III	91
5.3.1. Estudo IV	91
5.3.1.1. Quanto às concepções	91
5.3.1.2. Quanto às dificuldades e aos avanços na conceitualização do real	92
5.3.1.3. Quanto aos invariantes operatórios	102
5.3.2. Estudo V	110
6. CONCLUSÕES	141
REFERÊNCIAS	151
APÊNDICE A	167
APÊNDICE B	190
APÊNDICE C	193
APÊNDICE D	197
APÊNDICE E	199

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias de análise em que foram classificados os artigos revisados sobre modelos e modelagem científica no Ensino de Física.....	28
Quadro 2 - Princípios descritivos e metodológicos do realismo crítico de Mario Bunge.	33
Quadro 3 - Modelagem científica em Física, na concepção de Bunge.	41
Quadro 4 - Conteúdos das afirmativas de cada tema abordado no questionário.	56
Quadro 5 - Concepções subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos no início do curso.	70
Quadro 6 - Concepções subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos em duas semanas de curso.....	71
Quadro 7 - Concepções subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos ao final do curso.	72
Quadro 8 - Dificuldades apresentadas pelos alunos ao longo do curso.	75
Quadro 9 - Distribuição das afirmativas através dos dois fatores (Ciência 1 e Ciência 2) e as respectivas cargas fatoriais.....	77
Quadro 10 - Coeficientes de correlação entre os dois fatores e coeficiente de fidedignidade de cada fator.	78
Quadro 11 - Distribuição das afirmativas através dos dois fatores (Modelo 1 e Modelo 2) e as respectivas cargas fatoriais.....	81
Quadro 12 - Coeficientes de correlação entre os dois fatores e coeficientes de fidedignidade de cada fator.	81
Quadro 13 - Matriz de correlações entre os quatro fatores, média e desvio padrão dos escores em cada fator.	83
Quadro 14 - Perfis dos agrupamentos obtidos.....	85
Quadro 15 - Exemplos de invariantes operatórios gerais e específicos.....	88
Quadro 16 - Questões-foco, modelo conceitual, teoria geral e modelo teórico propostos por Raquel, em itálico, para modelar cada uma das situações apresentadas.	103
Quadro 17 - Enunciados explicitados pelos alunos sobre a natureza dos modelos científicos, no contexto da Física, no início da disciplina.	111
Quadro 18 - Enunciados explicitados pelos alunos sobre o papel desempenhado pelos modelos, no contexto da Física, no início da disciplina.	114
Quadro 19 - Enunciados explicitados pelos alunos sobre a relação entre teoria, modelo e realidade, no contexto da Física, no início da disciplina.	115
Quadro 20 - Exemplos de respostas dos alunos a três questões da Tarefa 3.....	120
Quadro 21 - Cinco primeiras palavras associadas ao conceito de ‘modelo’ em Física por três alunos representativos da turma de TICs-II, no início e no final do semestre.	122
Quadro 22 - Escolhas e justificativas de quatro alunos na Questão 1 da segunda avaliação individual.	125
Quadro 23 - Aspectos conceituais identificados por Alison e Robson, na Tarefa 8.....	127
Quadro 24 - Aspectos conceituais identificados por Gerônimo e Rosária, na Tarefa 8.....	127
Quadro 25 - Aspectos conceituais identificados por Élvis e Luis Guilherme, na Tarefa 8.....	129
Quadro 26 - Aspectos conceituais identificados por Gilson e Luis Pedro, na Tarefa 8.	130
Quadro 27 - Dificuldades enfrentadas na conceitualização do real em Física pelos alunos de TICs-II nas atividades de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, em 2009/02.	147
Quadro 28 - Avanços obtidos na conceitualização do real em Física pelos alunos de TICs-II nas atividades de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, em 2009/02.	147
Quadro 29 - Invariantes operatórios utilizados pelos alunos de TICs-II nas atividades de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, em 2009/02.....	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Um modelo conceitual (m) representando n objetos concretos (r); e n modelos conceituais (m) representando um objeto concreto (r).	42
Figura 2 - Teorias específicas (Ts) podem resultar de: um modelo conceitual (m) acolhido por teorias gerais (Tg); ou modelos conceituais acolhidos por uma teoria geral.	44
Figura 3 – As três etapas da pesquisa.	52
Figura 4 - O instrumento heurístico conhecido como diagrama AVM.	64
Figura 5 - Representação das cargas fatoriais, coeficientes de fidedignidade e coeficiente de correlação para os dois grupos de afirmativas sobre Ciência.	78
Figura 6 - Representação das cargas fatoriais, coeficientes de fidedignidade e coeficiente de correlação para os dois grupos de afirmativas sobre Modelo.	82
Figura 7 - Representação dos coeficientes de correlação entre os quatro escores.	85
Figura 8 - Estrutura conceitual de referência associada à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física.	86
Figura 9 - Atividade de simulação computacional sobre a conjugação de imagens por espelhos e lentes (HWANG, 1996a).	93
Figura 10 - Atividade de simulação computacional sobre movimento de projéteis (HWANG, 1996b).	94
Figura 11 - Atividade de simulação computacional sobre circuito elétrico RC.	96
Figura 12 - Atividade de simulação computacional, com auxílio do dAVM, sobre o salto de um paraquedista.	97
Figura 13 - Atividade expressiva de modelagem computacional sobre um ioiô.	98
Figura 14 - Atividade de simulação computacional sobre peso aparente.	104
Figura 15 - Atividade exploratória de modelagem computacional, com auxílio do dAVM, sobre o movimento de um bloco preso a uma mola e sujeito à força de atrito com a superfície.	106
Figura 16 - Primeiro dAVM construído por Raquel sobre o modelo computacional acerca do movimento do bloco preso a uma mola e sujeito à força de atrito com a superfície.	107
Figura 17 - Segundo dAVM construído por Raquel sobre o modelo computacional acerca do movimento do bloco preso a uma mola e sujeito à força de atrito com a superfície.	109
Figura 18 - Parte da resposta de Luis Pedro à Questão 1 da primeira avaliação individual.	118
Figura 19 - Função matemática proposta por Gerônimo e Rosária para descrever o movimento uniformemente variado de um objeto.	123
Figura 20 - Modelo computacional explorado por Alison e Robson, na Tarefa 8.	126
Figura 21 - Modelo computacional explorado por Gerônimo e Rosária, na Tarefa 8.	128
Figura 22 - Modelo computacional explorado por Élvis e Luis Guilherme, na Tarefa 8.	129
Figura 23 - Modelo computacional explorado por Gilson e Luis Pedro, na Tarefa 8.	130
Figura 24 - Modelo computacional explorado por Luis Pedro, na Tarefa 10.	133
Figura 25 - Modelo computacional explorado por Alison e Robson, na Tarefa 11.	136
Figura 26 - Modelo computacional explorado por Élvis e Luis Guilherme, na Tarefa 11.	136
Figura 27 - Modelo computacional explorado por Gerônimo e Rosária, na Tarefa 11.	137
Figura 28 - Modelo computacional explorado por Gilson e Luis Pedro, na Tarefa 11.	138

RESUMO

No contexto das pesquisas em Ensino de Física é praticamente consensual a relevância de estratégias didáticas que privilegiem uma reflexão crítica dos conteúdos trabalhados, tanto por parte de estudantes, quanto por parte de professores. Com base nos resultados obtidos em dois estudos empíricos, ambos de propósito exploratório, um com enfoque qualitativo (Estudo I) e outro quantitativo (Estudo II), partiu-se da premissa de que a estratégia da modelagem didático-científica reflexiva é uma das mais promissoras, podendo contribuir não só para a aprendizagem de conceitos científicos e para a resolução de problemas, como também para a construção de concepções e competências associadas à natureza da Ciência e à prática científica contemporâneas. O termo ‘modelagem didático-científica reflexiva’ resume o significado atribuído ao referencial desenvolvido neste trabalho, para o Ensino de Física e a pesquisa nessa área, centrado na estratégia da modelagem científica com fins didáticos e reflexivos. Tal estratégia tem como objetivo favorecer o desenvolvimento de concepções e competências associadas à natureza, à construção, à validação, à exploração e à revisão de modelos didático-científicos que, por sua vez, podem ser entendidos como versões didáticas de modelos científicos. O referencial foi desenvolvido em um estudo teórico de propósito integrador (Estudo III) que tomou como ponto de partida a proposição de que a modelagem científica pode ser vista como um campo conceitual subjacente ao domínio de campos conceituais específicos da Física. Seu fundamento apoia-se, sobretudo, em dois referenciais utilizados em pesquisas em Ensino de Ciências: a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud, de natureza didático-teórica, e a postura epistemológica de Mario Bunge sobre o processo de modelagem científica. Desse ponto em diante, o trabalho passou a ter como objetivo a busca por suporte empírico para o referencial desenvolvido. Nesse sentido, são apresentadas evidências de concepções, dificuldades enfrentadas, avanços obtidos e invariantes operatórios utilizados por professores de Física do Ensino Médio no processo de conceitualização do real, no contexto de uma disciplina de pós-graduação, com ênfase em atividades de modelagem computacional com fins didáticos, oferecida pelo IF-UFRGS, no âmbito do Mestrado Profissional em Ensino de Física. Tais evidências foram obtidas em dois estudos empíricos realizados junto à disciplina de pós-graduação, em semestres consecutivos: um de propósito descritivo (Estudo IV) e outro explanatório (Estudo V), ambos de natureza qualitativa e com o intuito de dar sustentação ao que o autor entende pelas formas predicativa e operatória do conhecimento acerca do processo de conceitualização do real através da estratégia da modelagem didático-científica no Ensino de Física.

ABSTRACT

It is almost a consensus in the context of physics education research the relevance of teaching strategies that emphasize a critical reflection of the contents worked, by students and teachers. Based on the results of two empirical studies, both with an exploratory purpose, being the first one a qualitative approach (Study I) and the other quantitative (Study II), we started from the assumption that the strategy of didactic-scientific modeling is one of the most promising to promote the learning of scientific concepts, problem solving and construction of conceptions and competences associated with the nature of science and contemporary scientific practice. The term ‘didactic-scientific modeling’ summarizes the meaning assigned to the framework developed in this work for the physics teaching and research in this area, centered on the strategy of scientific modeling with educational purposes. This strategy aims to promote the development of conceptions and competences associated with the nature, construction, validation, operation and review of the didactic-scientific models, in turn, can be understood as educational versions of scientific models. The framework was developed in a theoretical study with an integrative purpose (Study III) which started from the proposition that scientific modeling can be seen as a conceptual field underlying the domain of specific conceptual fields of physics. The theoretical background was mainly composed by the Gérard Vergnaud’s conceptual fields theory and the Mario Bunge’s epistemological conception concerning scientific modeling process. From this point on, the work has aimed the search for empirical support for the framework developed. In this sense, there are evidence of conceptions, difficulties encountered, progress made and operational invariants used by high school physics teachers in the process of conceptualization of the real in the context of a graduate course, with an emphasis on computer modeling activities with didactic purposes, provided by the IF-UFRGS, under the Professional Master in Physics Teaching. Such evidences was obtained by two empirical studies in the postgraduate course in consecutive semesters: with a descriptive (Study IV) and other explanatory (Study V) purpose, both qualitative and in order to give support to what the author meant by predictive and operative forms of knowledge about the process of conceptualization of the real through the strategy of didactic-scientific modeling in the physics teaching.

1. INTRODUÇÃO

O modo excessivamente formal como os conteúdos de Física continuam sendo apresentados e avaliados por professores do Ensino Médio, estimula os estudantes a utilizarem conhecimentos¹ que permanecem restritos às situações-problema idealizadas que costumam ser trabalhadas no contexto escolar. Tal modo tem resultado num distanciamento entre os conhecimentos de Física construído em sala de aula e a realidade vivenciada pelos estudantes fora dela. Além disso, não são raros os livros-texto que enfatizam a existência de um método único para se fazer Ciência, o chamado método científico empírico-indutivo (MOREIRA; OSTERMANN, 1993).

Esse quadro, além de tornar a aprendizagem de Física pouco atraente e útil, tem reforçado a concepção de que o conhecimento científico é sinônimo de verdade definitiva e perene. A Ciência não é vista como uma construção humana e o seu progresso parece resultar da mera acumulação de sucessivos descobrimentos e constante aperfeiçoamento de teorias. Como professores tendem a ensinar da maneira como foram ensinados (LORTIE, 2002), não é surpreendente que essa ainda seja a visão prototípica do fazer científico na Educação Básica.

Especialmente por isso, é praticamente consensual no contexto das pesquisas em Ensino de Física a relevância de estratégias didáticas que privilegiem uma reflexão crítica dos conteúdos abordados, tanto por parte dos estudantes quanto por parte dos professores.

Dentre essas estratégias, acredita-se que o uso de atividades de modelagem científica voltadas para o ensino é uma das mais promissoras, podendo contribuir não só para uma aprendizagem significativa² de conceitos científicos e para a resolução de problemas teóricos

¹ Esses conhecimentos se referem tanto a concepções quanto a competências. Segundo Weil-Barais e Vergnaud (1990), o termo ‘concepção’ diz respeito, em certo sentido, aos significados e aos significantes, cientificamente aceitos ou não, associados aos conceitos de um domínio de conhecimento, de modo consciente ou inconsciente, pelo sujeito que deseja aprendê-los. Já as competências estão relacionadas às ações do sujeito para lidar com as situações que dão sentido aos conceitos (FRANCHI, 1999).

² Segundo Zabala e Arnau (2010, p. 93-94), o termo aprendizagem significativa surge da constatação de que tudo o que se aprende não se integra do mesmo modo às estruturas do conhecimento. Assim, podemos identificar algumas aprendizagens que se integraram na estrutura cognoscitiva (que foram adquiridos) de forma superficial, mediante um processo de memorização simples, de tal modo que é possível sua reprodução de forma mais ou menos literal, mas não sua utilização para a solução de um problema real ou a interpretação de um fenômeno físico. Ao contrário, também dispomos de muitas aprendizagens que não apenas somos capazes de reproduzir,

e práticos, como também para a construção de concepções e competências associadas à natureza da Ciência e à prática científica contemporâneas.

Conforme Justi e Gilbert (2002a)³ sugerem: (i) ‘aprender Ciência’ significa, em grande parte, conhecer os modelos concebidos pelos cientistas, assim como as teorias, leis, princípios e conceitos de que fazem uso em suas construções; (ii) ‘aprender sobre Ciência’ é, em certa medida, refletir sobre o que versam os modelos científicos, a sua natureza, funções, limitações e o contexto histórico de desenvolvimento; e (iii) ‘aprender a fazer Ciência’ também é ser capaz de criar, testar e expressar seus próprios modelos.

Seguindo essa linha de raciocínio, a implementação de estratégias capazes de promover um Ensino de Ciências que privilegie o processo de modelagem científica exige a participação dos estudantes em atividades que propiciem a reflexão dos propósitos mencionados, imbricados com o conteúdo a ser ensinado. Para tanto, é preciso que os professores da Educação Básica estejam preparados para realizar essa tarefa, que só parece possível àquele educador capaz de aliar os seus conhecimentos de conteúdo a uma sólida formação didático-pedagógica e epistemológica (CUPANI; PIETROCOLA, 2002).

Nesse sentido, diversas estratégias de ensino pautadas em diferentes perspectivas teórico-epistemológicas sobre modelos e modelagem científica têm sido propostas para favorecer a aquisição de concepções e competências por parte de estudantes e professores da Educação Básica, especialmente os de Física (HESTENES, 1987, 1992; WELLS;

como também que nos são úteis para responder a problemas reais e para compreender o que ocorre à nossa volta. Se situássemos ambas as aprendizagens em um contínuo, encontraríamos em um dos extremos as aprendizagens superficiais, de memorização, as quais podemos chamar de “mecânicas”, e em outro extremo, aprendizagens muito elaboradas, úteis para a compreensão e interpretação, as quais podemos considerar como aprendizagens profundas ou significativas. Assim, ao longo desse contínuo podemos situar as aprendizagens com um maior ou menor grau de profundidade ou significado. Dentro desse contínuo, uma aprendizagem será mais ou menos significativa quando não apenas implicar uma memorização compreensiva, a lembrança daquilo que se compreendeu, mas sim quando for possível sua aplicação em contextos diferenciados e, portanto, for uma aprendizagem que possa ajudar a melhorar a interpretação ou a intervenção em todas as situações em que se fizerem necessárias. As competências, por definição própria, implicam uma ação, uma intervenção que, para que seja eficaz, é necessária a mobilização de diferentes recursos formados por esquemas de atuação que integram ao mesmo tempo conhecimentos, procedimentos e atitudes. Uma ação que é impossível de ser aplicada a qualquer competência se os próprios esquemas de atuação e seus componentes não foram adquiridos com o maior grau de relevância possível. Não é possível aplicar, de modo eficaz, o que não se aprendeu ou se dominou suficientemente. Ou o aprendido se compreende e domina profundamente, ou dificilmente poderá ser utilizado de forma competente diante de uma situação real específica. Não é possível ser competente se a aprendizagem dos componentes foi apenas de caráter mecânico.

³ Justi e Gilbert (2002a) argumentam que o processo de modelagem no Ensino de Ciências contempla o que na visão de Hodson (1992) poderiam ser os propósitos da educação científica: (i) uma aprendizagem ‘da’ Ciência; (ii) uma aprendizagem ‘sobre’ Ciência; e (iii) uma aprendizagem ‘para fazer’ Ciência.

HESTENES; SWACKHAMER, 1995; KIPNIS, 1998; HALLOUN, 1996, 1998, 2004; JUSTI, 2006; DEVELAKI, 2007; KOPONEN, 2007; LOPES; COSTA, 2007; MATTHEWS, 2007; SCHWARZ; MEYER; SHARMA, 2007; SENSEVY et al., 2008).

No entanto, o desenvolvimento de tais concepções e competências não costuma estar presente entre os objetivos de ensino na Educação Básica e a maioria dos seus estudantes e professores não reflete sobre a importância da modelagem científica no Ensino de Física. Por isso, embora haja um número considerável de estudos sobre modelos e modelagem científica no Ensino de Física, Coll e Lajium (2011) defendem que é preciso: (i) seguir favorecendo e investigando a aquisição de conhecimentos acerca dos modelos e da modelagem científica por parte dos professores; e (ii) fazer mais pesquisas em sala de aula para avaliar as possibilidades e limitações de estratégias centradas no processo de modelagem científica em termos de uma evolução conceitual e epistemológica.

Haja vista os possíveis reflexos que uma compreensão adequada desse processo pode aportar à prática de professores de Física da Educação Básica, este trabalho tem como objetivo: (i) apresentar os fundamentos teórico-epistemológicos da estratégia da ‘modelagem didático-científica reflexiva’ para a conceitualização do real no Ensino de Física; e (ii) dar sentido às formas predicativa e operatória dos conhecimentos utilizados por professores de Física da Educação Básica em atividades de modelagem, no contexto de uma disciplina de pós-graduação, com ênfase na modelagem computacional, oferecida pelo IF-UFRGS, no âmbito do Mestrado Profissional em Ensino de Física.

O termo ‘modelagem didático-científica reflexiva’ resume o significado atribuído ao referencial desenvolvido neste trabalho, para o Ensino de Física e a pesquisa nessa área, centrado na estratégia da modelagem científica com fins didáticos e reflexivos.

Essa estratégia busca favorecer o desenvolvimento de concepções e competências associadas à natureza, à construção, à validação, à exploração e à revisão de modelos didático-científicos⁴ que, por sua vez, podem ser entendidos como versões didáticas de modelos científicos, incluindo suas representações matemáticas e computacionais.

⁴ Cabe ressaltar que a estratégia da modelagem didático-científica reflexiva pode ser estendida às demais Ciências da Natureza e do Homem, mas o foco deste trabalho é a Física. Portanto, sempre que os modelos

O adjetivo ‘reflexiva’ foi cunhado com o objetivo de chamar a atenção para o fato de que o desenvolvimento de tais conhecimentos pode ocorrer por meio da tomada de consciência e explicitação de aspectos conceituais associados aos modelos e ao processo de modelagem científica em Física que costumam aparecer tacitamente.

Com o intuito de auxiliar o leitor, o trabalho está organizado do seguinte modo. O Capítulo 2 mostra como a Teoria dos Campos Conceituais (VERGNAUD, 1990, 1993) tem sido utilizada em recentes pesquisas em Ensino de Física. Além disso, fornece uma justificativa para a postura epistemológica adotada nesse trabalho e um panorama da visão desenvolvida pelo autor sobre a vasta e abrangente literatura especializada acerca dos modelos e modelagem científica nessa área. No Capítulo 3 apresentam-se os dois aportes teóricos que sustentam a proposição teórica e o desenvolvimento do referencial proposto. No Capítulo 4 apresentam-se as etapas da pesquisa, bem como a natureza, o enfoque, o propósito, os sujeitos e as questões formuladas em cada um dos cinco estudos. No Capítulo 5 são apresentados os resultados:

- de um estudo empírico (Estudo I), de propósito exploratório e enfoque qualitativo com oito professores de Física do Ensino Médio, que se constituiu na primeira aproximação ao estudo do que, posteriormente, passou a se entender pelas formas predicativa e operatória do conhecimento acerca do processo de modelagem científica em Física (BRANDÃO, 2008; BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2010);
- de um estudo empírico (Estudo II), de propósito exploratório e enfoque quantitativo com 218 sujeitos, que validou um questionário para investigar em que medida as concepções de professores sobre Ciência se correlacionam com as de modelagem científica no contexto da Física (BRANDÃO et al., 2011);
- de um estudo teórico (Estudo III)⁵, de propósito integrador e que resultou no referencial desenvolvido a partir da proposição de que a modelagem científica pode ser vista como

didático-científicos forem mencionados neste trabalho, o autor estará referindo-se a versões didáticas de modelos científicos da Física.

⁵ Optou-se por apresentar a costura teórica entre as ideias de Mario Bunge sobre modelagem científica e a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud como resultado de um estudo de propósito integrador, a fim de retratar a trajetória teórico-metodológica percorrida pelo autor no presente trabalho da forma mais fidedigna possível.

um campo conceitual subjacente ao domínio de campos conceituais específicos da Física (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2011);

- de um estudo empírico (Estudo IV), de propósito descritivo e enfoque qualitativo com uma professora de Física do Ensino Médio, que aprofundou os achados do primeiro estudo e deu sustentação ao referencial desenvolvido no estudo teórico (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, artigo submetido à *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*); e
- de um estudo empírico (Estudo V), de propósito explanatório e enfoque qualitativo com uma turma de oito professores de Física do Ensino Médio, que estendeu os resultados do estudo anterior e, dessa forma, forneceu um suporte empírico mais sólido à proposição teórica e ao referencial desenvolvido (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, artigo submetido à *Revista Investigações em Ensino de Ciências*).

Por fim, no Capítulo 6, reservado às considerações finais, discutem-se implicações didáticas e de pesquisa deste trabalho, que resultou, em outros termos, na construção de um referencial teórico para dar sentido às formas predicativa e operatória do conhecimento utilizadas no enfrentamento de situações de modelagem científica em Física, com fins didáticos e reflexivos. Tais implicações podem e devem ser levadas em consideração não só quando se pensa no planejamento de cursos visando a formação inicial e/ou continuada de professores de Física, e de Ciências em geral, como também na elaboração de materiais potencialmente significativos para o aprendizado de conteúdos de Física nos diversos níveis de ensino.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo possui dois objetivos específicos. O primeiro é chamar a atenção do leitor para o modo como a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) vem sendo utilizada em recentes pesquisas em Ensino de Física. O segundo objetivo é apresentar uma síntese de artigos revisados sobre modelos e modelagem científica, simulações e modelagem computacional nessa área.

O trabalho de revisão sobre ambos os temas deste capítulo incluiu consultas a 32 periódicos, nacionais e internacionais, de língua portuguesa, inglesa e espanhola. O período de consulta foi de dezenove anos, a partir de 1990. Entretanto alguns periódicos foram criados posteriormente. De acordo com os critérios de classificação do sistema *WebQualis* da Capes, em 2009, tais periódicos se constituíam nas principais referências para o Ensino de Física.

Foram consultados os seguintes periódicos de língua portuguesa: *Alambique*, *Alexandria*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Ciência & Ensino*, *Ciência e Educação*, *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* e *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*.

Os periódicos de língua inglesa consultados foram: *American Journal of Physics*, *Cognition and Instruction*, *Computers & Education*, *Foundations of Science*, *International Journal of Science Education*, *Journal of Computer Assisted Learning*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Journal of Science Education and Technology*, *Journal of Science Teacher Education*, *Physics Education*, *Physics Review Special Topics – Physics Education Research*, *Research in Science & Technological Education*, *Research in Science Education*, *Science & Education*, *Science Education* e *The Physics Teacher*.

Já os periódicos de língua espanhola consultados foram: *Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Chilena de Educación Científica*, *Revista de Educación de las Ciencias*, *Revista de Enseñanza de la Física*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Electrónica de Investigación en Educación de Ciencias* e *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.

2.1. Pesquisas em Ensino de Física à luz da Teoria dos Campos Conceituais

Esta seção mostra como a TCC tem sido utilizada em recentes pesquisas em Ensino de Física e chama a atenção do leitor para o fato de que neste trabalho essa teoria é utilizada para interpretar resultados de natureza distinta daqueles que, à sua luz, vêm sendo interpretados. Recentes pesquisas têm investigado dificuldades e avanços, por parte de estudantes e professores, no processo de conceitualização do real em campos conceituais específicos da Física. Já a presente pesquisa busca compreender o processo de conceitualização do real, por parte de professores de Física do Ensino Médio, no contexto da atividade de modelagem científica em Física.

Se por um lado o domínio de tal processo depende do campo conceitual da Física em que o sujeito esteja modelando, por outro lado, a atividade de modelagem permeia toda a Física e, por isso, pode ser vista como um campo conceitual subjacente ao domínio de campos conceituais específicos da Física ou como uma unidade de estudo frutífera para auxiliar na compreensão de certas dificuldades observadas no processo de conceitualização do real por parte daquele que aprende Física.

No ponto de vista do autor desta pesquisa, sua contribuição ao tema da modelagem enquanto estratégia didática aplicada ao Ensino de Física reside justamente aí, isto é, no fato de pensar a modelagem científica à luz da TCC.

Na Pesquisa em Ensino de Física, a TCC tem sido utilizada para investigar a aprendizagem de conceitos científicos (GRECA; MOREIRA, 2002; CUDMANI; PESA, 2008) e o funcionamento e desenvolvimento de esquemas de pensamento utilizados por estudantes e professores na resolução de problemas (FÁVERO; SOUSA, 2001; GRECA; MOREIRA, 2003) e atividades de laboratório (ANDRÉS; PESA; MOREIRA, 2006), em diferentes campos conceituais da Física.

No que se refere às investigações acerca da aprendizagem de conceitos científicos em Física à luz da TCC, destacam-se os estudos sobre os conceitos: de ‘campo’, no âmbito da Física Clássica (LLANCAQUEO; CABALLERO; MOREIRA, 2003); de ‘sistema’ e ‘equilíbrio’, no seio da Mecânica Clássica (COVALEDA; MOREIRA; CABALLERO, 2005), de ‘sistema de referência’, ‘observador’, ‘simultaneidade’, ‘medição’, ‘espaço’ e ‘tempo’, no

contexto da Relatividade Restrita (ARRIASSECQ; GRECA, 2006), de ‘calor’, ‘temperatura’, ‘trabalho’, ‘energia’ e ‘entropia’, na Termodinâmica (GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2006, 2008; CARVALHO JR.; AGUIAR JR., 2008), de ‘sistema’ e ‘equilíbrio’, nos âmbitos da Mecânica e da Termodinâmica (COVALEDA; MOREIRA; CABALLERO, 2009), e de ‘sistema quântico’, em Mecânica Quântica (FANARO; OTERO; MOREIRA, 2009).

Na sequência se fará um breve resumo dos objetivos, métodos e resultados obtidos nos estudos sobre aprendizagem de conceitos científicos, a fim de mostrar ao leitor o modo como a TCC foi utilizada pelos seus autores, em ordem cronológica.

Llancaqueo, Caballero e Moreira (2003) investigaram vínculos entre a estrutura cognitiva de estudantes e o conceito de ‘campo’ em Física Clássica. Para tanto, elaboraram e validaram um instrumento com dez situações, na forma de perguntas de resposta aberta, envolvendo uma série de conceitos matemáticos e físicos associados ao conceito de ‘campo’. O instrumento foi aplicado a 55 estudantes, sendo 48 do Bacharelado⁶ e sete do primeiro ano de Licenciatura em Química, da cidade de Burgos, na Espanha. As respostas dos estudantes foram classificadas segundo as seguintes categorias de análise: expressão escrita, representação, operação e resolução.

Os resultados apontaram que a maioria dos estudantes apresentava uma ausência notória de invariantes operatórios adequados para enfrentar as situações e os problemas propostos na investigação e que 92,7 % dos estudantes encontravam-se nos níveis mais baixos de conceitualização acerca do conceito de ‘campo’ em Física Clássica.

Covaleda, Moreira e Caballero (2005) procuram identificar e caracterizar significados e representações mentais associados aos conceitos de ‘sistema’ e de ‘equilíbrio’ por estudantes de Engenharia e de Física da Universidade de Antioquia, da cidade de Medellín, na Colômbia. Para tanto, elaboraram e validaram um questionário com oito perguntas de natureza discursiva sobre situações de interesse da Mecânica. O questionário foi aplicado a 60 estudantes ao final da disciplina de Física I.

⁶ O Bacharelado é uma etapa da educação espanhola, de dois anos e caráter pré-universitário, voltada para estudantes que já concluíram o Ensino Secundário Obrigatório (ESO). Após ter concluído o Bacharelado, o estudante pode ingressar nos ciclos formativos de nível superior ou na universidade, após ser aprovado nas provas de seleção para ingresso na universidade.

Para o conceito de ‘sistema’ foram estabelecidas três categorias de análise, denominadas e caracterizadas, respectivamente, por: Categoria 1, que considera ‘sistema’ como um conjunto de elementos, corpos, situações, interações, propriedades, objetos ou materiais; Categoria 2, que considera ‘sistema’ em termos de uma variedade de significados, tais como: componentes, informação, gráficos, esquemas, métodos, processos e referências; e Categoria 3, que considera ‘sistema’ como uma parte do universo que interessa estudar.

Para o conceito de ‘equilíbrio’ foram estabelecidas cinco categorias de análise, denominadas e caracterizadas, respectivamente, por: Categoria 1, que considera o ‘equilíbrio’ como um sistema que cumpre certas condições que implicam na sua inalteração; Categoria 2, que interpreta o ‘equilíbrio’ como uma situação na qual um corpo ou um sistema cumpre certas condições de compensação ou de funcionamento; Categoria 3, que entende o ‘equilíbrio’ como um estado de um corpo, sistema, partícula ou matéria em que não há mudanças, alterações e movimentos; Categoria 4, que considera o ‘equilíbrio’ como um somatório, igualdade, balanço, processo ou momento de forças nulas e velocidade constante; e Categoria 5, em que o ‘equilíbrio’ é interpretado de muitas outras formas.

Os resultados evidenciaram que os estudantes apresentavam baixo nível de conceitualização acerca dos conceitos de ‘sistema’ e ‘equilíbrio’. Ao final do trabalho, os autores questionam a possibilidade de aprender novos conceitos científicos e obter êxito na solução de novos problemas a partir de precursores cientificamente pobres ou de modelos mentais igualmente incompletos.

Arriasecq e Greca (2006) elaboraram um questionário para identificar significados atribuídos por estudantes da Educação Básica a conceitos-chave da Mecânica Clássica e que poderiam atuar como obstáculo epistemológico à compreensão da Teoria da Relatividade Restrita (TER). O questionário composto de onze situações, na forma de perguntas de resposta aberta, foi aplicado a dezoito estudantes do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola particular, da cidade de Tandil, na Argentina. A partir das categorias emergentes das respostas dos estudantes, foram inferidos possíveis invariantes operatórios para os conceitos de ‘sistema de referência’, ‘observador’, ‘simultaneidade’, ‘medição’, ‘espaço’ e ‘tempo’ que, grosso modo, estavam mais próximos dos significados que esses conceitos assumem na vida cotidiana do que no contexto da TER. Por fim, as autoras selecionaram aqueles invariantes que poderiam ser transformados em objetivos de uma proposta didática voltada para

estudantes do Ensino Médio e, portanto, superados pelos estudantes para uma aprendizagem significativa da TER.

Grings, Caballero e Moreira (2006) elaboraram e validaram um instrumento para identificar significados, dificuldades e indicadores de possíveis invariantes operatórios associados aos conceitos de ‘temperatura’, ‘calor’, ‘trabalho’, ‘energia interna’ e ‘entropia’ por estudantes que haviam estudado Termodinâmica no ano anterior. O instrumento, contendo um total de vinte perguntas de resposta aberta, foi aplicado a 99 estudantes de uma escola técnica, da cidade de Novo Hamburgo (RS).

Os possíveis invariantes operatórios inferidos a partir das respostas dos estudantes foram:

- a temperatura é a variação de um estado quente para um estado frio;
- a temperatura é a variação do calor;
- na realização de trabalho há liberação de calor;
- o calor é igual à energia interna, que é igual ao trabalho;
- a temperatura é diretamente proporcional ao volume;
- a diferença de temperatura leva à diminuição da temperatura do bloco de maior temperatura e ao aumento da do bloco de menor temperatura;
- o corpo de menor temperatura recebe calor até os corpos atingirem o equilíbrio térmico;
- ocorre transferência de calor quando os corpos estão encostados;
- a energia interna é baixa quando a temperatura é baixa, ou a energia interna é nula num corpo a 0 °C;
- em corpos de mesma temperatura, a energia interna é igual, independente do estado físico;
- quando a energia interna aumenta (ou diminui) o trabalho será positivo (ou negativo); e
- é necessário uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo.

Por julgarem insuficientes esses resultados, Grings, Caballero e Moreira (2008) elaboraram um novo instrumento para ser aplicado durante uma entrevista do tipo clínica, realizada individualmente, com quatro estudantes da escola técnica do estudo anterior.

O novo instrumento continha três conjuntos de questões, cada uma com quatro itens, e foi concebido para identificar a presença de invariantes operatórios inferidos no estudo

anterior. Inicialmente as questões foram respondidas por escrito e após foi solicitado a cada estudante que explicasse oralmente suas respostas, sem a interferência do entrevistador.

Os resultados desse estudo mostraram que os estudantes não haviam compreendido adequadamente o significado das representações simbólicas no campo conceitual da Termodinâmica. Tal incompreensão implicava, por sua vez, na incompreensão dos conceitos e na utilização de regras inadequadas para lidar com as situações de interesse da Termodinâmica. Esse estudo também permitiu confirmar a presença dos seguintes invariantes operatórios, detectados anteriormente: ‘ocorre transferência de calor somente quando os corpos estão encostados’ e ‘é sempre necessário uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo’. Finalmente, os autores chamaram a atenção para o fato de que apesar dos estudantes já terem sido expostos aos significados cientificamente aceitos, eles continuavam utilizando, implicitamente, a ideia de ‘calor’ como algo que pode ser transferido, trocado ou armazenado.

Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) planejaram e implementaram uma intervenção didática sobre Física Térmica voltada para estudantes do Ensino Médio e avaliaram os seus resultados, à luz da TCC. Para tanto, acompanharam as trajetórias de aprendizagem de sete estudantes, durante uma sequência de ensino de 24 horas-aula, em termos da evolução dos modelos explicativos explicitados pelos estudantes no enfrentamento de situações-problema no campo conceitual da Termodinâmica. Os resultados indicaram que alguns estudantes, às vezes, utilizavam modelos explicativos conflitantes entre si para uma dada classe de problemas. Já outros estudantes interpretaram as situações propostas levando em consideração os aspectos conceituais adequados ao contexto científico.

Ainda focados nos conceitos de ‘sistema’ e ‘equilíbrio’, Covalada, Moreira e Caballero (2009) procuraram investigar possíveis invariantes operatórios utilizados por estudantes universitários no enfrentamento de situações para dar sentido a esses conceitos, no âmbito da Mecânica e da Termodinâmica. Os resultados dizem respeito à interpretação das respostas de 25 estudantes a um questionário aplicado no início e no final da disciplina de Física I, no semestre de 2004, da Faculdade de Engenharia da Universidade de Antioquia, da cidade de Medellín, na Colômbia.

O questionário era composto de dezessete questões de caráter discursivo e sete de múltipla escolha a serem justificadas. Para o conceito de ‘sistema’ foram estabelecidas duas categorias de análise, denominadas e caracterizadas, respectivamente, por: Categoria 1, que considera ‘sistema’ como um conjunto de corpos, objetos ou elementos que interessa estudar e que interagem entre si; e Categoria 2, que considera ‘sistema’ como uma parte do universo cujo comportamento e suas interações se quer estudar.

Para o conceito de ‘equilíbrio’ foram estabelecidas três categorias de análise, denominadas e caracterizadas, respectivamente, por: Categoria 1, que considera ‘equilíbrio’ como um estado de um corpo ou de um sistema no qual a força resultante exercida sobre o mesmo é igual a zero; Categoria 2, que considera ‘equilíbrio’ como um estado em que se cumprem condições ou regras nas quais um corpo, sistema, partícula, matéria, não sofre perturbações, permanecendo sem mudanças de estado; e Categoria 3, em que ‘equilíbrio’ é interpretado de diversas formas, não tendo elementos comuns entre si.

Com base na experiência em sala de aula e nos resultados obtidos, os autores sugerem a introdução de uma unidade adicional sobre ‘equilíbrio’ e ‘sistemas’, ‘interações’ e ‘conservações’, nos cursos introdutórios de Física, com o intuito de oportunizar aos estudantes o aprendizado de significados cientificamente aceitos, constituindo-se em precursores cognitivos à construção de novos conhecimentos em cursos posteriores.

Fanaro, Otero e Moreira (2009) identificaram possíveis invariantes operatórios utilizados por 30 estudantes do Ensino Médio em duas situações que fizeram parte de uma sequência de ensino sobre Mecânica Quântica. A sequência de ensino teve como objetivo discutir a emergência do comportamento de sistemas quânticos na experiência de dupla fenda (EDF). Na primeira situação, os estudantes deveriam, em grupos de seis, predizer qual seria o resultado da EDF com bolinhas. A partir de um roteiro de perguntas que orientou essa atividade, os invariantes operatórios inferidos foram: (i) em relação aos impactos: ‘se as bolinhas são disparadas ao acaso, a distribuição é uniforme e as fendas impõem a forma da distribuição’; e (ii) em relação à forma da curva: ‘proporcionalidade entre o número de fendas e máximos e superposição de efeitos individuais no centro’.

Na segunda situação, os estudantes tinham como tarefa inicial, simular a EDF com o *software Dopplespalt*, selecionando bolinhas como projéteis, e contrastar os resultados da

simulação com as predições que haviam formulado na situação anterior. Em um segundo momento, os estudantes deveriam prever qual seria o resultado da EDF com elétrons. Novamente, em grupos de seis, e com base em um roteiro de perguntas que orientou essa atividade, os invariantes operatórios inferidos para os elétrons foram: ‘os elétrons têm uma qualidade especial: atravessar paredes’ e ‘os elétrons são bolinhas muito pequenas’.

Os autores concluíram que esses dois últimos invariantes operatórios parecem ter sido construídos ao longo dos anos de escolaridade dos estudantes e estão relacionados a duas representações mentais, uma imaginística e a outra pictórica, bem documentadas em muitos livros-texto de Física e de Química. Por fim, segundo os autores, a investigação mostrou que esses invariantes operatórios atuam como obstáculos epistemológicos à construção da noção de sistema quântico.

No que se refere às investigações acerca da resolução de problemas em Física à luz da TCC, destacam-se os estudos nos campos conceituais da: ‘Eletricidade’ (SOUSA; FÁVERO, 2002), ‘Cinemática’ (ESCUADERO; MOREIRA; CABALLERO, 2003), ‘Dinâmica de Corpo Rígido’ (ESCUADERO; JAIME, 2009) e ‘Mecânica Clássica’ (GONZÁLEZ; ESCUDERO, 2009).

Na sequência se fará um breve resumo dos objetivos, métodos e resultados obtidos nos estudos sobre resolução de problemas, a fim de mostrar ao leitor o modo como a TCC foi utilizada pelos seus autores, em ordem cronológica.

Sousa e Fávero (2002) propuseram um procedimento para o estudo de situações de interlocução entre um estudante e um professor com o objetivo de favorecer a explicitação dos invariantes operatórios utilizados por estudantes na resolução de problemas em campos conceituais da Física, com auxílio de um professor.

O procedimento foi aplicado a dois estudantes de um curso pré-vestibular, da cidade de Brasília, no Brasil, e consistiu basicamente em: (i) levantar o conhecimento prévio do estudante entrevistado na resolução de problemas sobre Eletricidade; (ii) solicitar ao estudante a proposição de um problema para o qual não conseguia encontrar uma solução sozinho, ou, sendo capaz de solucioná-lo, não sabia como explicar ao professor a solução encontrada em termos conceituais; e (iii) propor ao estudante a resolução do problema com auxílio de um

professor, com o intuito de que todo esse processo pudesse alimentar a reestruturação dos processos de pensamento que o estudante empregou na tentativa de solucionar o problema.

Cada estudante participou de cinco sessões individuais de resolução de problemas, em média, com duração de 70 minutos. A transcrição na íntegra das gravações em áudio e os registros escritos de cada problema proposto permitiram identificar uma série de invariantes operatórios utilizados pelos estudantes. Com isso, os autores chegaram às seguintes conclusões: um dos sujeitos possuía mais esquemas de ação para dar sentido às situações do que o outro; o professor desempenha um papel fundamental na interação como estudante; e é imprescindível que o professor domine o conteúdo envolvido nas situações de interlocução com o estudante.

Escudero, Moreira e Caballero (2003) analisaram dificuldades de estudantes do Ensino Médio em termos dos invariantes operatórios que utilizavam para resolver problemas, em nível introdutório, no campo conceitual da Mecânica.

Para tanto, os autores fizeram uso da análise conversacional como marco metodológico que privilegiou os processos comunicativos em sala de aula e permitiu a investigação dos invariantes operatórios a partir de uma imersão em aula. O estudo empírico ocorreu durante um período de três meses em um colégio da cidade de San Juan, na Argentina, e considerou como fontes de dados, essencialmente: os discursos conversacionais entre os estudantes, no sentido estrito; e a resolução escrita de 38 estudantes na ocasião de uma avaliação envolvendo duas situações problemáticas.

Os invariantes operatórios inferidos a partir dos dados coletados foram: ‘o principal sistema de referência é o observador com tudo que o cerca e com toda a sua bagagem cultural’; ‘se um móvel tem velocidade (ou rapidez) em um determinado instante é porque leva um tempo movendo-se’ ou ‘a análise de um movimento começa sempre a partir do repouso’; e ‘se a aceleração de um móvel é negativa, é porque ele está se movendo para trás’.

Escudero e Jaime (2009) investigaram os avanços e as dificuldades de estudantes de Engenharia em termos dos invariantes operatórios utilizados na resolução de um problema sobre o movimento de um corpo rígido. A investigação foi realizada em situação real de sala de aula, durante o segundo semestre de 1998 e 2002.

Os dados coletados dizem respeito à resolução escrita de um problema de dinâmica de corpo rígido por 34 estudantes (em 1998) e 30 (em 2002), ambos do primeiro ano, que fizeram a terceira avaliação da disciplina de Física I, da Faculdade de Engenharia da Universidade Nacional de San Juan, em San Juan, na Argentina.

Na análise dos dados foram identificados os seguintes teoremas-em-ação, que permitiram agrupar os estudantes em diferentes categorias de análise: ‘se manipulo as equações que relacionam as variáveis, então calculo’; ‘se busco as condições de contorno de mínimo (ou máximo), obtenho a altura’; ‘se busco as condições de contorno compatíveis com os vínculos, obtenho a altura (ou a encontro em função delas)’; e ‘se busco as condições de contorno compatíveis com os vínculos e determino o mínimo (ou máximo), então obtenho a altura’.

González e Escudero (2009) investigaram a presença de possíveis invariantes operatórios utilizados por estudantes do Ensino Médio na resolução de problemas do campo conceitual da Mecânica e associados às unidades de medida dos conceitos de ‘trabalho’ e de ‘energia’. Para tanto, analisaram a resolução escrita de dois problemas em 101 avaliações.

Os invariantes operatórios identificados foram: ‘se há uma diversidade de unidades, então elejo qualquer uma que pertença ao campo conceitual para acompanhar o resultado final’; ‘se há uma diversidade de unidades, então não as escrevo durante o cálculo e coloco uma unidade coerente com o que busco ao final’; ‘se há uma diversidade de unidades, então não as escrevo nem durante o cálculo, nem no resultado final’; e ‘se há uma diversidade de unidades, então as escrevo durante o cálculo, mas não coloco unidade no resultado final’.

No que se refere às investigações acerca do laboratório em Física à luz da TCC, destacam-se os estudos: no campo conceitual das ‘Oscilações Harmônicas’ (ANDRÉS; PESA, 2004) e ‘Eletromagnetismo’ (SOUSA; MOREIRA; MATHEUS, 2005).

Na sequência se fará um breve resumo dos objetivos, métodos e resultados obtidos nos estudos envolvendo atividades de laboratório, a fim de mostrar ao leitor o modo como a TCC foi utilizada pelos seus autores, em ordem cronológica.

Andrés e Pesa (2004) analisaram o processo de conceitualização por parte de seis estudantes em termos dos invariantes operatórios utilizados em uma atividade experimental sobre Oscilações Harmônicas, no contexto de uma disciplina voltada para futuros professores.

Foram identificados os seguintes teoremas-em-ação em relação ao conteúdo propriamente dito: ‘se o movimento oscilatório cessa, não é periódico e não é movimento harmônico simples (MHS)’; ‘em um MHS não há atrito’; ‘se a amplitude e a frequência não são constantes (diminuem), o movimento não é MHS’; ‘a amplitude e a frequência variam devido ao atrito’; ‘o atrito implica uma dissipação de energia e, portanto, o movimento é harmônico amortecido’; e ‘se as oscilações variam, se dissipa energia e a oscilação é amortecida’.

Em relação ao trabalho de laboratório propriamente dito, foram identificados os seguintes invariantes operatórios: ‘uma única medida não é suficiente, é necessário efetuar várias medidas’; ‘as medidas diretas têm um erro experimental que depende da precisão do instrumento de medida’; e ‘estudar uma relação experimentalmente significa descrever como uma variável muda em função da outra’.

Sousa, Moreira e Matheus (2005) procuraram inferir possíveis invariantes operatórios utilizados por estudantes universitários frente a uma situação-problema experimental sobre Deflexões Eletromagnéticas proposta no contexto da disciplina de Física 3 Experimental, oferecida pelo Instituto de Física da Universidade de Brasília.

Foram identificados os seguintes invariantes operatórios: ‘a não deflexão do elétron resulta da existência de campos, elétrico e magnético, de mesma direção, porém, de sentidos opostos (isto é, se não há desvio é porque a partícula está sob a ação de campos iguais e opostos)’; e ‘para não haver deflexão sobre o elétron, a resultante das forças elétrica e magnética sobre ele deve ser nula (isto é, se a resultante é nula, não há deflexão)’.

Como se pode constatar, as pesquisas destacadas têm se ocupado do estudo de concepções e competências associadas a conceitos ou campos conceituais específicos da Física, e não de caráter mais geral. Há, por certo, linhas de pesquisa mais gerais no Ensino de Física, como a de resolução de problemas, mas os estudos em si costumam utilizar a TCC

para investigar dificuldades no processo de conceitualização do real relativas a uma determinada área do conhecimento científico em particular.

O presente trabalho pretende avançar na investigação dos aspectos conceituais subjacentes às concepções e aos esquemas de pensamento de professores de Física da Educação Básica, que podem atuar ou como precursores ou como vieses cognitivos, ou ainda como obstáculos epistemológicos à compreensão da atividade de modelagem científica em Física e, por conseguinte, da natureza, da construção e da validação de conhecimentos em Física.

Mas para identificar aspectos conceituais dessa natureza não basta uma abordagem exclusivamente psicológica, é preciso fazer referência a conceitos e modos de raciocínio empregados na modelagem científica em Física. Isso significa adotar uma postura epistemológica acerca de tal processo nessa área do conhecimento, a fim de compreender certas dificuldades observadas na conceitualização do real por parte daqueles que aprendem Física (WEIL-BARAI; VERGNAUD, 1990).

A postura epistemológica adotada nesse trabalho em relação ao processo de modelagem científica apoia-se, sobretudo, na perspectiva de Bunge (1974), que será apresentada no próximo capítulo. A seguir será apresentada a justificativa para essa escolha, com base nos trabalhos de Pietrocola (1999) e Cupani e Pietrocola (2002).

2.2. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o Ensino de Ciências

Pietrocola (1999) e 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 supervalorizar as construções individuais, em detrimento da dimensão ontológica do conhecimento científico e do seu caráter coletivo (social), conclui haver necessidade de valorizar suficientemente a apreensão da realidade concernente ao mundo físico. Assim, Pietrocola introduz as ideias 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 estrangidas 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 consequência 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 ideias 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 (op. cit., 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 ideias 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 ideias 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).

A seguir é apresentada uma síntese de artigos revisados sobre modelos e modelagem científica no Ensino de Física.

2.3. Modelos e modelagem científica no Ensino de Física

Os artigos revisados sobre o tema que dá nome a essa subseção foram classificados em seis categorias de análise que constam na segunda coluna do Quadro 1, no qual também se pode ver a quantidade e o percentual de artigos correspondente a cada uma delas.

A seguir é apresentada uma síntese interpretativa para cada categoria, com base na análise dos artigos que estão resumidos no Apêndice A, a fim de propiciar ao leitor um breve panorama da visão desenvolvida pelo autor sobre o tema.

Quadro 1 - Categorias de análise em que foram classificados os artigos revisados sobre modelos e modelagem científica no Ensino de Física.

Categoria	Descrição da categoria	Qtde.	Perc.
1	Concepções e atitudes de professores sobre modelos e modelagem científica	10	10,4%
2	Reflexões e propostas enfatizando o papel dos modelos e da modelagem científica no Ensino de Física	21	21,6%
3	Implementação e resultados de estratégias centradas nos modelos e na modelagem científica no Ensino de Física	11	11,4%
4	Reflexões e propostas enfatizando o papel das simulações e da modelagem computacional no Ensino de Física	20	20,6%
5	Implementação e resultados de estratégias centradas nas simulações e na modelagem computacional no Ensino de Física	20	20,6%
6	Embasamentos epistemológicos sobre modelos e modelagem científica	15	15,4%
		97	100%

Em relação aos artigos classificados na Categoria 1 – Concepções e atitudes de professores sobre modelos e modelagem científica – cabe ressaltar que: (i) entrevistas semiestruturadas e/ou questionários do tipo Likert (1932) têm sido os dois instrumentos de pesquisa mais empregados pelos pesquisadores para investigar tais concepções e atitudes por parte de professores; (ii) com alguma exceção, os estudos apontam para o preocupante fato, mas não surpreendente, de que a maioria dos professores investigados não possui experiência e não está acostumada a refletir e/ou a ensinar em sala de aula sobre a natureza e o papel dos modelos científicos e do processo de modelagem nos contextos científico e educacional (BRANDÃO et al., 2011).

Em relação aos artigos classificados na Categoria 2 – Reflexões e propostas enfatizando o papel dos modelos e da modelagem científica no Ensino de Física – salientam-se os seguintes aspectos: (i) a polissemia dos termos ‘modelo’ e ‘modelagem’ no Ensino de

Ciências; e (ii) as relações que alguns autores têm buscado estabelecer entre modelos, analogias e representações⁷, com valor educativo; o caso mais evidente é o surgimento do conceito de ‘modelo didático analógico’. Destaca-se também a potencialidade das propostas de ensino baseado em modelos e modelagem para introduzir conteúdos de História e Filosofia da Ciência em meio aos conteúdos de natureza disciplinar.

Em relação aos artigos classificados na Categoria 3 – Implementação e resultados de estratégias centradas nos modelos e na modelagem científica no Ensino de Física – constata-se que uma diversidade de estratégias têm sido implementadas nos diferentes níveis de ensino com o objetivo de favorecer a aquisição de conhecimentos indispensáveis: (i) à compreensão de conceitos científicos; (ii) às práticas de laboratório; (iii) à formulação de explicações cientificamente aceitas acerca de sistemas, processos e fenômenos físicos, de caráter descritivo, representacional ou preditivo; (iv) à construção de uma visão adequada sobre a natureza da Ciência; e (v) à resolução de problemas autenticamente científicos. Destacam-se ainda os resultados positivos alcançados por algumas propostas com o objetivo de ampliar os conhecimentos pedagógicos e de conteúdo sobre modelos e modelagem, por parte de professores da Educação Básica.

Em relação aos artigos classificados nas Categorias 4 e 5 – Reflexões e propostas enfatizando o papel das simulações e da modelagem computacional no Ensino de Física, e Implementação e resultados de estratégias centradas nas simulações e na modelagem computacional no Ensino de Física – salientam-se os seguintes aspectos: (i) a variedade de *softwares* e ambientes computacionais para a criação de animações, simulações e modelos computacionais, tais como: os sistemas de modelamento celular e *IQON*, os aplicativos *STELLA* e *Modellus*, a ferramenta *Easy Java Simulations* e o ambiente *Flash*; (ii) as potencialidades do uso de simulações computacionais no Ensino de Física, tais como: a possibilidade de estudar problemas complexos (‘mais realísticos’) e visualizar/interpretar seus resultados com maior facilidade; (iii) as limitações do uso de simulações computacionais no Ensino de Física, como, por exemplo, a incapacidade de substituir os laboratórios de ensino, haja vista que as simulações computacionais baseiam-se em modelos teóricos, e por isso não podem ser confundidas com experimentos reais.

⁷ Para uma discussão mais aprofundada a respeito dos conceitos de ‘modelo’, ‘analogia’, ‘representação’ e ‘simulação’, sugere-se a leitura de Bunge (1974, 1989), que trata do papel desses conceitos na Ciência.

Adicionalmente, embora não haja um consenso entre os trabalhos revisados, pode-se adotar a seguinte diferenciação entre os tipos de atividades computacionais de ensino: (i) atividades de simulação computacional, nas quais o sujeito limita-se a inserir valores iniciais para as variáveis, a alterar parâmetros e, às vezes, a modificar relações entre variáveis, porém sem ter acesso à parte de implementação matemática e/ou icônica da simulação computacional; (ii) atividades de modelagem computacional do tipo exploratória, nas quais o sujeito explora e modifica, sob as mais diversas perspectivas, um modelo computacional construído por outra pessoa; nessas atividades eleva-se o nível de interação entre sujeito e modelo matemático (ou icônico) subjacente à implementação computacional; e (iii) atividades de modelagem computacional do tipo expressiva (ou de criação), nas quais o sujeito constrói e valida os seus próprios modelos.

Em relação aos artigos classificados na Categoria 6 – Embasamentos epistemológicos sobre modelos e modelagem científica – salientam-se os seguintes aspectos: (i) o papel desempenhado pelas idealizações na produção do conhecimento em Física; (ii) a relevância da epistemologia de Mario Bunge para o Ensino de Ciências centrado nas noções de modelo e modelagem, como se verá no capítulo seguinte; e (iii) as contribuições da visão semântica das teorias, com destaque para a formulação do epistemólogo estadunidense Ronald Giere, segundo a qual as teorias científicas são concebidas como famílias de modelos (GIERE; BICKLE; MAULDIN, 2006).

A revisão da literatura apresentada não esgota a vasta e profunda discussão que ocorre sobre modelos e modelagem científica, simulações e modelagem computacional no Ensino Física. Esta seção teve como objetivo aproximar o leitor da visão panorâmica desenvolvida pelo autor sobre o tema com base nos trabalhos publicados nos principais periódicos especializados em Ensino de Ciências, e de Física em particular, nacionais e internacionais (de língua portuguesa, espanhola e inglesa).

O próximo capítulo é dedicado à apresentação dos dois aportes teóricos que sustentam este trabalho: a concepção de Mario Bunge (1974) acerca do processo de modelagem científica e a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (1990, 1993). Enquanto o primeiro autor entende que a chave para a compreensão da atividade científica moderna é o conceito de modelo, o segundo supõe que o âmago do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os dois aportes teóricos que sustentam a proposição de que o processo de modelagem científica pode ser visto como um campo conceitual subjacente ao domínio de campos conceituais específicos da Física. Do ponto de vista epistemológico, a proposição se apoia na concepção de Mario Bunge (1974) sobre o processo de modelagem científica. Do ponto de vista da didática das Ciências Naturais, ela se vale de implicações da Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud (1990, 1993) para o Ensino de Física.

A obra do físico e filósofo da Ciência Mario Bunge é vasta (MATTHEWS, 2003, 2009). O presente trabalho enfocará apenas a concepção bungeana de modelo científico (BUNGE, 1974) devido à sua relevância para um Ensino de Ciências centrado na estratégia da modelagem (PIETROCOLA, 1999). Além disso, parte da epistemologia de Bunge, e algumas de suas implicações didáticas para o Ensino de Ciências, já se constituiu em objeto de análise de outros autores (CUPANI; PIETROCOLA, 2002; WESTPHAL; PINHEIRO, 2004). No entanto, serão apresentados, resumidamente, alguns dos princípios que caracterizam a sua epistemologia, denominada de realismo científico.

3.1. O realismo científico de Mario Bunge

Mario Bunge é um realista científico. E o quê isso quer dizer? O termo “realismo” é altamente polissêmico na filosofia em geral e, como não poderia deixar de ser, na filosofia da Ciência também. Por isso, vale a pena, antes de prosseguir, explicitar o que Bunge (1985) entende por realismo gnoseológico, metafísico, ingênuo, crítico e científico, além de como ele caracteriza esse último, em termos de alguns dos seus princípios norteadores.

O realismo gnosiológico é uma doutrina filosófica que parte da premissa de que o mundo existe por si mesmo e que os homens podem conhecê-lo, ainda que de forma parcial e aos poucos. Tal doutrina se diferencia do realismo metafísico, ou platônico, na medida em que esse último supõe que as ideias existem independentemente dos cérebros humanos. O realismo gnosiológico opõe-se ao subjetivismo, doutrina segundo a qual as coisas existem em virtude da nossa percepção acerca delas. Uma de suas variantes mais conhecidas é a doutrina

fenomenalista, que sustenta a ideia de que só podemos conhecer os fenômenos (no sentido estrito do termo) ou aparências, ou seja, aquilo que os nossos sentidos nos permitem.

Mas o realismo gnosiológico não deve ser entendido como uma doutrina filosófica, mas sim como uma família de doutrinas. Segundo Bunge, na verdade, há três tipos de realismo gnosiológico: ingênuo, crítico e científico.

O realismo ingênuo sustenta que o mundo é o que ele aparenta ser, como, por exemplo, que a Lua é do tamanho de uma moeda, que os sólidos são maciços e aquilo que existe é perceptível.

O realismo crítico sustenta que o mundo real⁸ difere às vezes do que aparenta ser, na medida em que algumas aparências enganam e não podemos aceitar dogmaticamente tudo aquilo que provêm somente dos nossos sentidos. Como a experiência não basta para o realista crítico, é preciso recorrer à imaginação e conjecturar sobre o imperceptível. Diferentemente do empirista, que só confia na experiência, o realista crítico acredita na capacidade da razão para representar não só aquilo que ele percebe como também o que para ele é imperceptível.

Já o realismo científico pode ser entendido como uma variedade do realismo crítico e baseia-se na premissa de que o empreendimento científico proporciona o melhor conhecimento acerca da realidade, ainda que de modo imperfeito. É a tese do cientificismo, isto é, da supremacia do conhecimento científico sobre as outras formas de conhecimento: ordinário, artístico, místico, etc. Segundo o realismo científico, a experiência e a razão são necessárias quando se pensa em conhecer a realidade. Além disso, longe de ser uma doutrina puramente gnosiológica, assume um compromisso ontológico. Com efeito, adota a ontologia da Ciência moderna, que se resume no princípio segundo o qual o universo se compõe exclusivamente de coisas concretas, dinâmicas e sujeitas a leis. Em suma, o realismo científico implica em um materialismo dinamicista.

⁸ Segundo Bunge (2006), é o mundo fora da mente ou da pele de um sujeito (ou de um cognoscente). Há um único universo, mas há tantos mundos externos quantos são os sujeitos. A justaposição ou a soma física destes mundos centrados no sujeito é igual ao (único) mundo, ou realidade. Os objetivistas afirmam, enquanto os subjetivistas negam a existência autônoma do mundo externo. Se a existência do mundo externo pode ser ou não provada, é uma questão aberta. Porém, se trata de uma questão puramente acadêmica, porque os seres humanos em geral e os cientistas fatuais em particular, tomam o mundo externo como dado. Se não o fizessem, não poderiam explorá-lo nem procurar proteger-se dele, e jamais conseguiriam entendê-lo ou transformá-lo. Assim, a tese da existência autônoma (independente do sujeito) do mundo externo é muito mais importante do que qualquer hipótese bem confirmada: é um pressuposto para toda a cognição e toda a ação.

Na base do realismo científico, segundo Bunge (1985), encontramos os seguintes princípios descritivos e metodológicos.

Quadro 2 - Princípios descritivos e metodológicos do realismo crítico de Mario Bunge.

Princípios descritivos		Princípios metodológicos	
D1	O mundo existe por si mesmo (por si mesmo), haja ou não sujeitos cognoscentes.	M1	Estuda o que os outros têm encontrado, mas não esqueça de que a maneira mais rápida e gratificante de aprender é conduzindo investigações independentes.
D2	Podemos chegar a conhecer o mundo, ainda que só em parte, de forma imperfeita e aos poucos.	M2	Começa tua investigação elegendo um problema que parece não ter sido resolvido, que está ao teu alcance e que possa satisfazer alguém.
D3	Todo sujeito cognoscente é um animal dotado de um sistema nervoso central plástico, ou seja, cuja conectividade varia com o tempo ao invés de permanecer constante desde o nascimento.	M3	Se necessitas ascender, elege um problema cuja solução está à vista. Se podes dar-te ao luxo de ser curioso, divirta-se trabalhando em problemas duros.
D4	Todo ato cognoscitivo é um processo que ocorre no sistema nervoso de algum animal.	M4	Não deprecies as tarefas menores. Todo problema está rodeado de pequenos problemas, e alguém tem que resolvê-los.
D5	O conhecimento é aprendizagem, e o conhecimento de um indivíduo é a totalidade do que ele aprendeu.	M5	Formula teus problemas com clareza: explicita seu contexto, seus pressupostos tácitos e seus dados.
D6	A aprendizagem é a formação de novas conexões interneuronais, ou seja, a emergência de novas reuniões de neurônios conectados entre si de maneira variável no tempo.	M6	Não confunda problemas de ser com problemas de conhecer; por exemplo, não tente definir a causalidade ou o livre arbítrio em termos de predicabilidade.
D7	Todas as faculdades cognoscitivas se desenvolvem ao longo da vida e são resultado de um longo processo evolutivo.	M7	Não confunda problemas de conhecer com problemas de ser: por exemplo, não creia que os fatos mudam quando são vistos através de esquemas conceituais distintos.
D8	Os seres humanos podem conhecer somente objetos de duas classes: entes materiais e objetos conceituais (construtos), ou seja, conceitos, proposições e sistemas dessas (teorias).	M8	Não permita que as técnicas existentes ditem teus problemas. Se é necessário ensaia novas técnicas ou ainda enfoques inteiramente novos.
D9	Alguns construtos derivam de percepções, e outros são inventados.	M9	Planeja a investigação do teu problema, mas esteja pronto para mudar teu plano, e inclusive teu problema, tantas vezes quanto necessário.
D10	Um animal pode conhecer algo acerca de uma coisa somente se ambos podem conectar-se mediante um sinal que o primeiro é capaz de detectar.	M10	Sempre que for possível trata teu problema cientificamente, ou seja, armado de conhecimentos e métodos científicos, e dirigindo-te a uma meta científica ou técnica.
D11	Dado um sistema qualquer conectável por sinais a um pesquisador, este pode conhecer alguns dos componentes do sistema, algumas das coisas em seu entorno, e algumas das relações incluídas na estrutura do sistema.	M11	Não evita as dificuldades, mas se não consegues avançar mude de problema durante um tempo.
D12	Dado um fato qualquer fisicamente acessível a um pesquisador, é possível inventar meios para observar alguns aspectos do fato, mas não há maneira de observar com toda exatidão todos os aspectos de todos os fatos.	M12	Não tolere a obscuridade nem a imprecisão à exceção do início: trata de explicitar todo conceito ou enunciado chave.
D13	Nenhuma averiguação ou investigação parte da	M13	Não reifique os construtos nem os

Princípios descritivos		Princípios metodológicos	
	ignorância total: é preciso saber algo antes de poder formular um problema e de investigá-lo.		esqueça em um reino platônico.
D14	Toda operação cognoscitiva está sujeita a erro, mas todo erro é corrigível.	M14	Quantifica tudo aquilo que possa ser graduado, mas somente se houver alguma esperança de medir, mesmo que indiretamente.
D15	Há diversas maneiras de conhecer: pela percepção, concepção e ação; e em muitas investigações esses modos de conhecer se combinam.	M15	Não te compromete antes de verificar: primeiro vem o conhecimento, então a crença e depois a dúvida.
D16	Todo conhecimento de fatos consiste em, ou contém de algum modo, alguma observação direta.	M16	Revisa periodicamente tuas crenças mais arraigadas: seguramente verás que algumas delas são defeituosas.
D17	A observação indireta, que faz uso de hipóteses ou teorias, proporciona um conhecimento mais amplo e profundo do que a observação direta.	M17	Atribua maior credibilidade a melhor proposição e credita maior confiança no artefato melhor delineado e mais eficiente.
D18	O conhecimento de fato se resume em parte de generalizações indutivas (baseadas em experiência), e em parte de hipóteses que não incluem conceitos empíricos.	M18	Trata todo princípio, método e artefato como falível em princípio, mas sinta-se livre para usá-lo enquanto não conduza à contradição ou desastre.
D19	Dois seres humanos quaisquer compartilham algum conhecimento, mas todo ser humano sabe algo que nenhum outro sabe.	M19	Não há dúvidas de que teus colegas formularão perguntas que não te ocorreram, e que encontrarão o que tu não encontraste.
D20	Todo animal capaz de aprender também é capaz de ensinar.	M20	Não há dúvidas de que teus colegas cometerão erros que tu poderás descobrir e talvez corrigir.
D21	Toda averiguação ou investigação humana se faz em sociedade, e por isso em cooperação, assim como em competência com outros.	M21	Não tente ser autosuficiente em matéria de conhecimento: pede informação, conselho ou ajuda, mas conserva a liberdade de não utilizá-los.
D22	Toda sociedade impõe alguns limites – culturais, políticos ou econômicos – à investigação.	M22	Mantenha-se atualizado mas não necessariamente na moda: toda ideia, procedimento ou artefato radicalmente novo não está na moda desde o início.
D23	Toda investigação científica, técnica ou humanística se faz hoje em dia no seio de alguma comunidade de pesquisadores.	M23	Escuta aos teus críticos mas, se tens boas razões para crer que estás em um bom caminho, não te deixa intimidar por eles.
D24	O principal elo que une os membros de uma comunidade de pesquisadores é a troca de informação, através de diversas línguas (naturais ou simbólicas), com um mesmo fim.	M24	Não acumule dados somente com o fim de aumentar o volume da informação: busque orientações.
D25	A comunicação entre pesquisadores é tanto mais fácil quanto maior é o quantidade de conhecimentos, métodos e metas que compartilham.	M25	Faça uso livre da analogia e da indução, mas matenha-se alerta às suas limitações.
D26	Em princípio todo fato e todo construto pode ser investigado: há problemas não resolvidos mas não mistérios.	M26	Simplifica, mas leva em conta tuas hipóteses simplificadoras e as altere se assim for preciso.
D27	Todo construto pode ser esclarecido.	M27	Explora ao máximo a dedução, mas comprova as conclusões a fim de avaliar as premissas.
D28	Não há limite para a matematização dos construtos.	M28	Não contenta-te em acumular hipóteses: procura organizá-las em teorias.
D29	O conhecimento pode ser específico ou normativo.	M29	Prefira teorias formuladas em termos matemáticos, mas lembre-se de que a matemática dá unidade, clareza e poder dedutivo, mas não garante a verdade de fato.
D30	O conhecimento normativo pode ser condensado em	M30	Uma teoria atual matém afastados os

Princípios descritivos		Princípios metodológicos	
	hipóteses e teorias.		dados falsos, e um dado atual mantém afastadas as teorias falsas.
D31	As hipóteses e teorias mais profundas são as que envolvem mecanismos de algum tipo.	M31	Vigila que no se cuelen errores de todas clases, y mantente dispuesto a corregirlos si vale la pena.
D32	Em todos os campos da investigação podemos formular hipóteses causais e probabilísticas, assim como combinações destas.	M32	Estuda todo ente como um sistema ou um componente de tal.
D33	O núcleo de todo campo avançado de investigação fatural (de fatos) é um conjunto de leis.	M33	Lembre-se que todo objeto de estudo é multifacetado, por isso é que pode ser enfocado a partir de vários pontos de vista.
D34	Todo corpo de hipóteses pode ser sistematizado na forma de teoria, e toda teoria pode ser axiomatizada.	M34	Especializa-te, mas nunca ao ponto de ser incapaz de entender que é possível adotar um enfoque distinto.
D35	Toda teoria propriamente dita – ou seja, todo sistema hipotético-dedutivo – enriquecida com hipóteses subsidiárias e dados, pode prever; mas somente as teorias mecanísticas podem explicar.	M35	Busca a mudança subjacente à aparente quietude, assim como os invariantes da mudança.
D36	Toda teoria fatural é uma representação parcial de objetos supostamente reais.	M36	Busca a regularidade subjacente ao caos aparente, e busca o acaso por detrás da regularidade.
D37	A contrastação empírica de uma teoria fatural envolve hipóteses que relacionam inobserváveis com indicadores observáveis ou indícios.	M37	Investiga todo nível da realidade em si mesmo e com relação aos níveis vizinhos.
D38	As hipóteses acerca de indicadores deveriam ser contrastadas empiricamente e justificadas teoricamente.	M38	Não salte os níveis, como, por exemplo, não procura escrever a equação de Schrödinger de um cérebro.
D39	Somente as teorias capazes de fazer previsões são empiricamente comprováveis.	M39	Esforça-te para reduzir até onde é possível, mas não seja cego à emergência de novas qualidades.
D40	O grau de verdade de uma teoria, e a eficácia de um delineamento, podem ser averiguados com a ajuda de observações, medições, experimentos, e outras teorias.	M40	Esforça-te para integrar todos os campos do conhecimento que estudam o mesmo objeto.
D41	Todo fragmento de conhecimento e toda proposta ou delineamento podem ser aperfeiçoados através da investigação, mas não vale a pena aperfeiçoar tudo.	M41	Não cesse na tentativa de explicar, mas evita as teorias que pretendem explicar tudo, porque é provável que não expliquem nada.
D42	Os avanços do conhecimento são às vezes graduais, e outras vezes são rápidos e envolvem profundas alterações.	M42	Não cesse na tentativa de prever, mas o faça somente com a ajuda de teorias e dados razoáveis.
D43	Nenhuma progresso científico, técnico ou humanístico emerge do vazio: sempre se origina em algum corpo de conhecimento anterior.	M43	Evita a ideologia em Ciência básica mas prepara-te para encontrá-la por toda a parte, e formula claramente teus valores sociais em Ciência aplicada e em técnica, particularmente em sociotécnica.
D44	Toda novidade cognoscitiva é comparável com sua predecessora, quando ela tem; e somente essa comparação provê uma base objetiva para eleger entre rivais.	M44	Não espere inventar nenhum artefato ou organização social importante sem fazer uso de algum conhecimento científico básico.
D45	Todo campo de investigação está caracterizado por uma visão geral, um conjunto de conhecimentos que não se questionam nesse campo, ainda que sejam revisáveis em outros campos, uma problemática, metas e métodos próprios, e uma comunidade de pesquisadores.	M45	Não espere que a Ciência básica produza técnica de uma vez.
D46	A investigação científica é a forma mais elevada de averiguação.	M46	Se ocupas uma posição de poder científico ou técnico, não use-a exceto

Princípios descritivos		Princípios metodológicos	
			para destruir barreiras ao descobrimento e à invenção.
D47	O conhecimento ordinário e o artesanal, a arte e algumas ideologias sóciopolíticas contém sementes de conhecimento autêntico, mas não podem fazer avanços ulteriores sem a ajuda da investigação científica, técnica ou humanística.	M47	Todas as regras têm um alcance limitado e são falíveis, aperfeiçoáveis ou substituíveis.
D48	A totalidade do conhecimento genuíno forma um sistema, enquanto que o conhecimento ilusório (mítico ou pseudocientífico) é marginal.	M48	As regras para investigar podem ajudar mas não garantem o êxito: a investigação e o delineamento originais são inventivos antes de serem regulamentados.
D49	O sistema do conhecimento humano está estritamente conectado com o sistema da produção e circulação de bens e serviços.	M49	Não tente ignorar a filosofia: quem a ignora somente acaba por reinventá-la.
D50	Há limites, tanto naturais quanto sociais, que podemos conhecer, mas somente os limites sociais têm importância, e são os únicos que podemos superar.	M50	Ao tentar contribuir com o progresso da gnoseologia considere todas as ciências do conhecimento: psicologia, sociologia e a história das ciências, técnicas e humanidades.

Ao final do capítulo dedicado aos diversos tipos de realismo, Bunge (1985) afirma que o realismo científico

não é uma fantasia inventada por filósofos desconectados da realidade. Pelo contrário, é a gnosiologia⁹ inerente à investigação científica e técnica. De fato, esta consiste em estudar e modificar o mundo real, não em criar mundos imaginários (p. 55).

Caracterizada a postura filosófica adotada e defendida por Mario Bunge, passarei a descrever em detalhes a sua concepção acerca do processo de modelagem científica (BUNGE, 1974). Antes disso, aproveito a oportunidade para chamar a atenção do leitor para o fato de que este trabalho se diferencia dos supracitados na medida em que se interessa pelos aspectos conceituais subjacentes às concepções e competências, por parte de professores de Física do Ensino Médio, acerca do processo de modelagem científica, à luz da Teoria dos Campos Conceituais. Para tanto, apoiei-me na postura epistemológica de Bunge sobre modelagem científica para construir uma estrutura conceitual de referência¹⁰ associada à noção de modelo científico em Física. Essa estrutura conceitual serviu-me de referência para analisar os conhecimentos de professores de Física do Ensino Médio relativos aos conceitos, e suas

⁹ Gnosiologia é o mesmo que teoria do conhecimento.

¹⁰ Segundo Otero (2006), uma estrutura conceitual de referência “é um conjunto de conceitos, relações entre eles, princípios, afirmações de conhecimento e explicações relativos a certo campo conceitual, conforme aparece formulado, explicado e consensuado nas discussões e nos textos especializados próprios de uma certa comunidade científica de referência” (p. 47). Um campo conceitual, como foi visto no capítulo anterior, é mais do que simplesmente uma estrutura conceitual de referência, pois também considera os esquemas de pensamento e as representações que costumam ser empregadas por aqueles que tentam solucionar situações que dão sentido aos conceitos necessários ao seu domínio.

relações, que compõem, juntamente com as situações e os esquemas de pensamento associados a elas, o que se entende por campo conceitual da modelagem científica em Física.

Além disso, vale ressaltar que a Teoria dos Campos Conceituais (VERGNAUD, 1990, 1993) supõe que o âmago do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização do real. E, por conceitualização do real, Vergnaud (2007) faz questão de precisar que entende com a identificação de objetos do mundo real, de suas propriedades, relações e transformações, quer esta identificação resulte de uma percepção direta ou quase-direta, ou de uma construção, que pode ser pessoal, mas ela também é cultural, tal como o processo de modelagem científica é pensado por Bunge, e será mostrado a seguir. Ou seja, a postura realista científica de Mario Bunge pode ser conciliada com a principal suposição assumida pela Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud. E, como se poderá constatar na subseção dedicada à construção teórica de Vergnaud, vários são os pontos de contato entre suas ideias e alguns dos princípios descritivos do realismo científico, como, por exemplo, os princípios D7, D9, D15 e D22.

3.2. Modelagem científica na concepção de Mario Bunge

Segundo Bunge (1960), o empreendimento científico tem possibilitado uma reconstrução conceitual do mundo em que vivemos cada vez mais ampla, profunda e detalhada. Mas com que objetivo os cientistas teorizam acerca da natureza? Em última instância, nos ensina Bunge, com o objetivo de apreender a realidade pelo pensamento (BUNGE, 1974).

No processo de teorização, que implica sempre em uma tentativa de trazer a realidade para um plano conceitual, é possível seguir por um ou outro caminho teórico. Podem ser construídas teorias do tipo representacional, 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 internos (não observáveis) do sistema, processo ou fenômeno de interesse. Outro tipo de teorias são as chamadas de fenomenológicas (ou de caixa-negra), em que se busca uma abordagem mais direta, isto é, mais próxima aos dados empíricos disponíveis e que faz uso de variáveis externas (observáveis) do tipo entrada-e-saída, de modo a descrever o comportamento externo do

sistema. Como exemplos de teorias do tipo caixa-negra em Física podem ser citadas a Cinemática e a Óptica Geométrica. Já a Dinâmica e a Óptica Física são exemplos de teorias científicas do tipo representacionais. Enquanto a Cinemática realiza uma descrição puramente matemática dos movimentos, em termos das variáveis de entrada (tempo) e saída (posição, velocidade e aceleração), a Dinâmica se preocupa com as causas (forças) dos movimentos. Enquanto a Óptica Geométrica realiza uma descrição com base em argumentos puramente geométricos sobre a formação de imagens conjugadas por sistemas de espelhos e lentes, a Óptica Física faz suposições acerca da natureza da luz. Mas como argumenta Bunge, não se deve preferir um tipo de teoria em detrimento de outro. Ambas devem ser entendidas como complementares.

Embora as teorias científicas se constituam no ‘sistema nervoso’ da Ciência (BUNGE, 1989), a pedra fundamental para o entendimento da atividade científica moderna, na visão de Bunge, é o conceito de modelo (BUNGE, 1974). De acordo com Bunge, os dois principais sentidos que devem ser considerados para o termo modelo, nas Ciências Físicas da Natureza e do Homem, são: “o modelo enquanto representação esquemática de um objeto concreto e o modelo enquanto teoria relativa a esta idealização” (ibid., p. 30). O primeiro sentido define o que Bunge denomina de objeto-modelo de um objeto (ou evento) concreto. O segundo sentido resume o que o autor entende por modelo teórico. Esse conceito, cujo referente direto é o objeto-modelo que lhe deu origem, é concebido como um sistema hipotético-dedutivo específico e deve ser representado por um conjunto de hipóteses e expressas de preferência em linguagem matemática. Mais adiante será discutido como Bunge descreve a elaboração de modelos teóricos, também conhecidos como teorias específicas.

O modo como Bunge concebe o processo de modelagem revela a importância que ele atribui à noção de modelo na produção do conhecimento científico. Embora desempenhem papel fundamental no contexto científico, as teorias mais gerais e abstratas, por si só, não se aplicam diretamente às coisas do mundo real, embora possuam objetivos realísticos. Um exemplo de teoria geral e abstrata é o Eletromagnetismo Clássico. No extremo oposto, os dados empíricos apesar de muito próximos da realidade não são passíveis de serem inseridos em sistemas lógicos para gerar conhecimento (PIETROCOLA, 1999). A função dos modelos é justamente a de mediar a relação entre teoria e realidade (BUNGE, 1974; MORGAN; MORRISON, 1999; KOPONEN, 2007).

A reconstrução conceitual da realidade começa pela representação esquemática dos objetos (ou fatos) que se quer apreender. Mais precisamente, inicia-se com as idealizações que resultam em classes de equivalência, ou seja, objetos que são reunidos por apresentarem alguns aspectos semelhantes, apesar de mostrarem-se claramente distintos (BUNGE, 1974). Isso é tão somente uma classificação que resume os traços relevantes de objetos diferentes que, num certo sentido, são considerados idênticos. 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 esses objetos puderem ser tratados por uma teoria, isto é, que lhes forem atribuídas propriedades e relações em grande parte observáveis (carga, massa, spin, estranheza, cor, sabor, etc.) à luz de pressupostos que fazem parte da estrutura sintática da teoria, surge um construto, mais ou menos elaborado, que Bunge denomina de objeto-modelo (ou modelo conceitual)¹¹. Esse modelo conceitual pode, em princípio, ser tão complicado quanto se queira; jamais completo.

Veja-se outro exemplo: o problema do caminhante aleatório unidimensional. Esse 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 $q = 1 - p$. Existe uma série de idealizações assumidas até se chegar ao enunciado desse problema. E caso se esteja interessado nas versões bi e tridimensional do problema, ambas só podem ser descritas vetorialmente, o que as torna demasiado complicadas. Entretanto, por meio dessas representações ‘mais realísticas’ é possível estudar o fenômeno da difusão de uma molécula gasosa que sofre colisões intermoleculares. Ainda assim, esse modelo conceitual não é uma representação especular da realidade, entre outras coisas, porque não considera a possibilidade da molécula ‘dar passos’ de comprimento variado nas diferentes direções. Esse exemplo ilustra um papel fundamental desempenhado pelos modelos conceituais: propiciar representações simbólicas que, embora devam ser constantemente aperfeiçoadas, auxiliam na descrição de sistemas, processos, eventos e fenômenos reais, ou supostos como tais. Ao trabalhar com modelos unidimensionais se sabe de antemão que mais cedo ou mais tarde eles

¹¹ Daqui para frente, os termos ‘objeto-modelo’ e ‘modelo conceitual’ serão empregados como sinônimos.

fracassarão. Por outro lado, modelos unidimensionais fornecem soluções matemáticas mais simples e, por consequência, melhor interpretáveis (BUNGE, 1974).

Porém a construção de um objeto-modelo não é suficiente para que se obtenha o que Bunge denomina de modelo teórico (ou teoria específica)¹². É preciso que o modelo conceitual seja acolhido por uma teoria geral, ou melhor, por “um corpo de idéias no seio do qual se possam estabelecer relações dedutivas” (ibid., p. 23). Veja-se o exemplo da Teoria Cinética dos Gases. Essa teoria específica resulta do modelo de gás ideal¹³ que à luz da Mecânica Estatística Clássica¹⁴ possibilita a dedução de uma série de resultados, tais como: a equação de estado e as distribuições de velocidades das moléculas de 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 contrastação empírica.

Em suma, o processo de modelagem científica reside no fato de que teorias gerais, que em princípio não se pronunciam diretamente sobre a realidade, ao acolherem modelos conceituais, produzem representações de parte da realidade, ou seja, 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 (ibid., p. 25).

Entretanto é preciso dizer que diversas áreas do conhecimento humano não possuem (ou nem sempre possuíram) teorias gerais. Para Bunge, a ausência de teorias gerais e abstratas em certas áreas do conhecimento indica a falta e/ou dificuldade de uma desejável maturidade teórica. Nesses casos, a construção de modelos teóricos (ou teorias específicas) inicia-se pelo extremo oposto, ou seja, a partir de algumas hipóteses muito próximas dos dados empíricos construídos a partir da observação e da experimentação.

¹² Daqui para frente, os termos ‘modelo teórico’ e ‘teoria específica’ serão empregados como sinônimos.

¹³ O modelo (conceitual) de gás ideal está sendo entendido como um conjunto de hipóteses sobre a composição da matéria no estado gasoso.

¹⁴ A Mecânica Estatística Clássica está sendo entendida como uma teoria geral que não se pronuncia sobre a natureza dos elementos que constituem o sistema envolvido.

Esse é um dos motivos pelo qual se optou pelas ideias de Bunge sobre modelos científicos, haja vista que a Física é um corpo de conhecimento bem estabelecido, no seio do qual há várias teorias gerais igualmente bem estabelecidas e que podem ser úteis quando se pensa em modelagem científica com fins didáticos. O Quadro 2, inspirado em Bunge, ilustra o processo de modelagem de algumas situações de interesse em Física (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2008a).

Quadro 3 - Modelagem científica em Física, na concepção de Bunge.

Situação a ser modelada	Objeto-modelo	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 termicamente isolado de partículas que interagem via colisões perfeitamente elásticas com as paredes do recipiente.	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 de partículas sujeitas a uma força central.	Mecânica Clássica e Eletromagnetismo	Modelo atômico de Rutherford
Movimento dos planetas do Sistema Solar		Mecânica Clássica	Modelo gravitacional de Newton

Como se pode observar pelo Quadro 2, em Física existem tantos modelos conceituais quantas forem as idealizações e os objetivos a serem almejados. Com isso, são muitos os modelos teóricos para representar a realidade. A construção de modelos teóricos 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. Os modelos teóricos diferem basicamente quanto ao tipo de hipótese que formulam acerca do sistema que pretendem representar. Enquanto alguns modelos se limitam a previsões sobre o comportamento global do sistema, outros formulam hipóteses a respeito dos mecanismos mais internos (diretamente inacessíveis) do sistema. Enquanto aqueles pouco se distanciam dos dados empíricos, esses podem prever fenômenos desconhecidos. Enquanto os primeiros permanecem isolados da massa de conhecimento, os segundos estabelecem conexões com outras teorias e áreas do conhecimento. Nesse último caso é possível extrapolar o modelo para situações além das quais foi inicialmente construído (MAOR, 1972).

Veja-se o exemplo de Bunge (1974) 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. À luz da Mecânica Quântica esse modelo conceitual 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 resultante 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 alguns modelos são mais ousadas, pois supõem a existência de um mecanismo interno ao sistema. Entretanto, para que sejam corroboradas é preciso que forneçam explicações de comportamentos já conhecidos, estejam de acordo com grande parte do conhecimento já estabelecido ou prevejam novos acontecimentos.

Ainda sobre a construção de modelos conceituais, Bunge nos ensina que no processo de idealização pode-se: (i) elaborar um único objeto-modelo com a finalidade de representar toda uma classe de objetos concretos; ou (ii) 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 1 ilustra de forma esquemática as duas possibilidades.

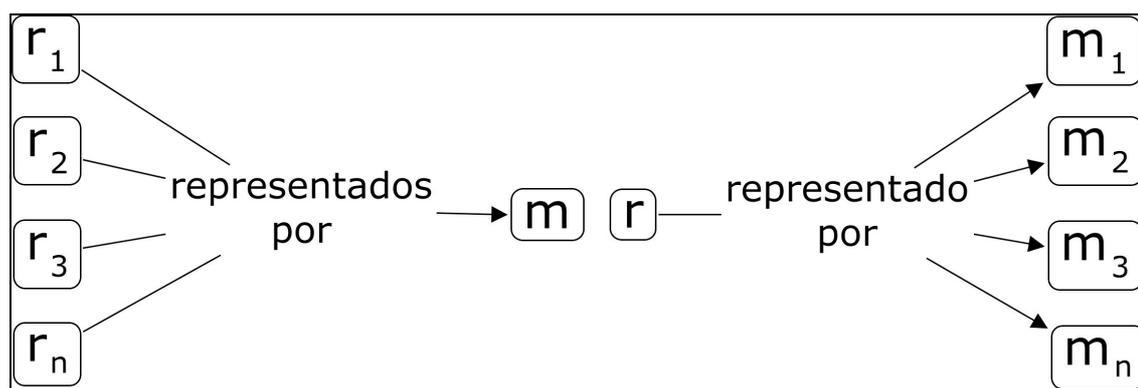


Figura 1 - Um modelo conceitual (m) representando n objetos concretos (r); e n modelos conceituais (m) representando um objeto concreto (r).

Para exemplificar a situação à direita na Figura 1, tomar-se-á como exemplo o movimento de translação da Terra ao redor do Sol. Para representar o sistema Terra-Sol se poderia concebê-lo através de um modelo conceitual de partícula em movimento circular. Embora se saiba que a Terra não descreve uma trajetória circular, mas aproximadamente

elíptica ao redor do Sol, essa poderia ser uma primeira representação caso o interesse fosse avaliar a sua velocidade de escape, ou seja, a velocidade mínima que a Terra deveria possuir para escapar do campo gravitacional criado pelo Sol. Porém, se o objetivo fosse estudar os fenômenos das estações do ano e dos eclipses (solares e lunares) parece claro que esse modelo não seria mais útil. Um modelo capaz de representar a Terra como um corpo (esfera) rígido pareceria mais interessante. Agora, suponha que se deseje estudar as condições do clima na Terra. De novo, parece clara a insuficiência desses modelos para dar conta, ainda que de forma simplificada, do problema que se pretende resolver. É preciso complicá-los, isto é, atribuir à Terra propriedades até então negligenciadas pelos modelos anteriores.

Mas permita que se reflita um pouco mais sobre o modelo que poderia ser construído para estudar as estações do ano e os eclipses. Na medida em que fosse atribuído ao globo terrestre um formato tridimensional e não mais de partícula, estar-se-ia fazendo uma idealização que implicaria em algum tipo de aproximação matemática a fim de facilitar os cálculos. A diferença entre idealizações e aproximações é bastante sutil em se tratando de modelagem científica (PORTIDES, 2007). Vejam-se dois exemplos na tentativa de esclarecer esse 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. Nesse caso, a suposição pode ser encarada como uma idealização do modelo que pretende representar conceitualmente o sistema físico em questão. 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 das 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. Contudo, 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 simplificação dos cálculos para a obtenção de resultados teóricos melhor interpretáveis.

Veja-se agora 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. Sob o ponto de vista da Mecânica Clássica, esse 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 aproximar $\text{sen}\theta \approx \theta$ na equação diferencial que descreve seu movimento. Nesse caso, o período do pêndulo independe da amplitude do movimento, fato que foi descoberto por Galileu e batizado de isocronismo das pequenas oscilações (MATTHEWS, 2004; NOLA, 2004).

Como já foi dito, o processo de modelagem não fica restrito à construção de modelos conceituais. É preciso formular teorias específicas a fim de submetê-las à corroboração empírica e avaliar seu domínio de validade (KOPONEN, 2007). 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, soluções para casos particulares. Assim, o conhecimento sobre a realidade pode ser incrementado de dois modos: (i) é preciso multiplicar cada vez mais o número de modelos teóricos, cada qual focalizando diferentes aspectos da realidade; e (ii) aperfeiçoar os modelos teóricos já existentes, de modo a obter descrições cada vez melhores (fidedignas) do mundo em que vivemos. A Figura 2 ilustra de forma esquemática o que, segundo Bunge, de algum modo, costuma se fazer nas Ciências teóricas fatuais.

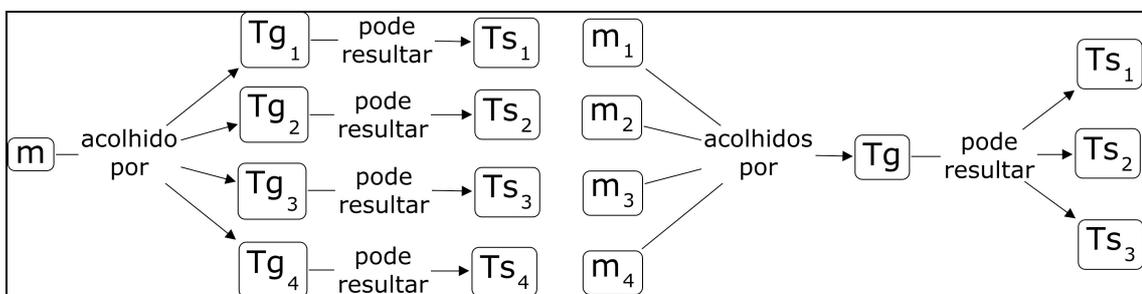


Figura 2 - Teorias específicas (Ts) podem resultar de: um modelo conceitual (m) acolhido por teorias gerais (Tg); ou modelos conceituais acolhidos por uma teoria geral.

Para ilustrar a situação à direita da Figura 2, suponha que o interesse seja o de estudar o comportamento de um fluido real escoando no interior de um tubo cilíndrico. Se o objetivo for estabelecer relações entre grandezas físicas macroscópicas, pode-se optar por uma descrição em que o fluido possa ser representado por um meio 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, a representação poderá ou não levar em consideração efeitos da viscosidade (atrito interno) e de condução térmica do fluido, isto é, poder-se-á optar por construir um modelo de fluido ideal ou um modelo de fluido viscoso. Para obter um modelo teórico capaz de descrever a situação real, que atenda os objetivos, esses modelos devem ser acolhidos pela Mecânica dos Fluidos. Nesses casos, como se sabe, será 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 de 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). O adjetivo ‘hipotético’ para o mecanismo a ser inferido tem um significado bastante preciso para Bunge. Ele indica a necessidade de abastecer os sentidos perceptivos com conhecimento teórico a fim aprofundar a 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 (ibid., p. 16).

Por fim, na medida em que todo modelo teórico é, em certo grau, uma invenção, sua falseabilidade deve estar constantemente sendo avaliada. A confiabilidade dos modelos deve ser guiada criticamente por testes empíricos, racionais e de consistência teórica. Para tanto, os cientistas estariam habilitados a abandonar provisoriamente a realidade com toda sua riqueza e complexidade e dedicar-se a “atividade típica da pesquisa científica contemporânea: a construção de modelos teóricos e sua comprovação” (ibid., p. 30). Essa comprovação não é

apenas empírica, pois também envolve questões de natureza epistemológica, metodológica e filosófica; e tampouco definitiva, pois todo o conhecimento construído no processo de modelagem científica é por definição provisório, sempre passível de revisão.

3.3. A Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud (1990, 1993) se ocupa do estudo de atividades cognitivas complexas, especialmente as que dependem ou estão envolvidas na aquisição de conhecimentos matemáticos, científicos e técnicos.

Por ser uma construção teórica de natureza psicológica, cognitivista e pragmática, a TCC atribui aos conhecimentos a função primeira de apoiar a ação do sujeito nas situações¹⁵ com as quais ele se confronta. Nesse sentido, “um dos problemas da psicologia cognitiva é o de reconstruir os conhecimentos implícitos na ação” (VERGNAUD, 1996, p. 14).

Como já foi dito na introdução, tais conhecimentos se referem a concepções e competências. As concepções dizem mais respeito aos significados e significantes, cientificamente aceitos ou não, associados aos conceitos de uma área do conhecimento, de modo consciente ou inconsciente, pelo sujeito que os aprende. As competências estão mais relacionadas às ações do sujeito para lidar com as situações que dão sentido aos conceitos que se quer ensinar (Vergnaud, 1987).

Como nem sempre somos capazes de fazer o que sabemos explicitar, ou explicitar o que sabemos fazer, “um dos problemas do ensino é desenvolver ao mesmo tempo a forma operatória do conhecimento, isto é, o saber-fazer, e a forma predicativa do conhecimento, isto é, saber explicitar os objetos e suas propriedades” (ibid., p. 13).

Explicitar os objetos do mundo, suas propriedades, relações e transformações é o que Vergnaud (2007) entende por conceitualização do real, quer a identificação resulte de uma

¹⁵ Segundo Escudero, Moreira e Caballero (2003), o conceito de situação na TCC é suficientemente abrangente para incluir “problemas, tarefas, perguntas, tanto as tradicionalmente escolares como as que estão fora deste âmbito na condição de que permitam levar os estudantes a interrogar-se sobre determinadas relações complexas e especialmente sobre a coerência do sistema em estudo” (p. 203).

percepção direta ou quase direta quer de uma construção, tal como o processo de modelagem científica.

Os processos de conceitualização do real são tidos como atividades cognitivas que resultam na aquisição de conhecimentos a curto e a longo prazos. A curto prazo, esses processos cognitivos organizam as percepções, as representações e a conduta do sujeito em atividade. A longo prazo, são responsáveis pelas concepções e competências desenvolvidas pelo indivíduo em interação adaptativa com as situações que vivencia no curso de sua experiência (FRANCHI, 1999).

A forma predicativa do conhecimento se refere àquilo que pode ser declarado com maior facilidade pelo sujeito, ou seja, às suas concepções que, em geral, podem ser expressas por meio de uma série de enunciados. Já a forma operatória do conhecimento, ou procedimental, em contraste, refere-se àquilo que fundamenta ações de grande habilidade desse sujeito, ou seja, às suas competências. Esse conhecimento não se mostra de forma clara, sendo evidenciado com maior facilidade no ato de fazer no do que de falar ou escrever, por meio de ações julgadas adequadas para tratar uma situação.

Segundo Vergnaud (1987, p. 5), o conceito de esquema é fundamental para analisar as competências de um sujeito. Um esquema deve ser entendido como uma organização invariante das ações do sujeito frente a uma classe de situações¹⁶. Já as concepções podem ser analisadas em termos dos objetos, propriedades e relações que, de algum modo, podem ser representadas simbolicamente.

A eficiência dos esquemas depende fundamentalmente da adequação dos invariantes operatórios que constituem a sua base conceitual, largamente implícita, e que permitem ao sujeito obter as informações pertinentes para inferir a meta a ser alcançada e as regras de ação adequadas.

Apesar de estarem usualmente implícitos nos esquemas utilizados para lidar com as situações, os invariantes operatórios também estão relacionados aos objetos, propriedades e

¹⁶ Otero (2010) discute e compara em profundidade a noção de situação na perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais, da Teoria das Situações Didáticas, da Dialética Instrumento-Objeto e da Teoria Antropológica da Didática.

relações que podem ser estabelecidas ou identificadas nas situações. Nesse sentido, também podem ser expressos por palavras e outros tipos de representações simbólicas (VERGNAUD, 1987), ainda que ofereçam uma resistência maior à descrição verbal e/ou escrita e que não sejam tão bem controlados quanto à forma predicativa do conhecimento.

Por tudo isso, o conceito de competência para Vergnaud se aproxima em muito ao que Zabala e Arnau (2010) definem como competência específica, a saber:

É a intervenção eficaz diante de uma situação-problema real por meio de ações nas quais se mobilizem, ao mesmo tempo e de maneira inter-relacionada, componentes atitudinais, procedimentais e conceituais (p. 83).

Segundo Vergnaud (1993), ao se interessar pelo conteúdo do conhecimento e pela análise conceitual de seu domínio, a TCC permite identificar e estudar continuidades e rupturas entre conhecimentos, do ponto de vista de seu conteúdo conceitual. Adicionalmente, possibilita reconstruir relações entre os conceitos enquanto conhecimento explícito e o que há de implícito em termos de conhecimento na ação do sujeito. Nesse sentido, não se pode buscar evidências sobre as dificuldades apresentadas pelos estudantes em determinada área do conhecimento, sem levar em conta as especificidades do próprio conteúdo que constitui esse conhecimento. Em outros termos, as dificuldades dos estudantes não são as mesmas de um campo de conhecimento para outro.

Por isso, a TCC parte do pressuposto de que o conhecimento está organizado em campos conceituais que podem ser entendidos como unidades de estudo frutíferas para dar sentido às dificuldades observadas nos processos de conceitualização do real nas mais diversas atividades humanas (VERGNAUD, 1983, p. 393). Mais precisamente, campo conceitual é para Vergnaud “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” (VERGNAUD, 1982, p. 40).

A justificativa de Vergnaud para a tese dos campos conceituais se apoia em três argumentos: (i) um conceito não se forma dentro de um só tipo de situação; (ii) uma situação não se analisa com um só conceito; e (iii) a construção e apropriação de todas as propriedades

de um conceito ou de todos os aspectos de uma situação é um processo de larga duração, com avanços e retrocessos entre situações, concepções e competências (VERGNAUD, 1983).

Em razão desses argumentos, a TCC considera o processo de formação de conceitos em três níveis. Para Vergnaud, os conceitos devem ser entendidos como um triplete 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 sujeitos 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 consequência, as situações que dão sentido ao conceito. O primeiro conjunto, de situações, é o referente do conceito. O segundo, de invariantes operatórios, está relacionado ao significado do conceito. Já o terceiro, de representações simbólicas, diz respeito ao significante do conceito (VERGNAUD, 1983). Em termos psicológicos, o conjunto S é a realidade e os conjuntos I e R a representação dessa realidade.

Logo, para progredir em um campo conceitual o sujeito deve dominar um conjunto de situações e problemas que exigem, por sua vez, o domínio de uma série de conceitos de naturezas distintas, esquemas de pensamento e representações de tipos diferentes, fortemente relacionados entre si.

Na Matemática, Vergnaud se interessou pelos campos conceituais das estruturas aditivas e multiplicativas (VERGNAUD, 1994, 1997). Segundo ele, o campo conceitual das estruturas aditivas é ao mesmo tempo o conjunto das situações e esquemas de pensamento que envolvem as operações de adição e subtração, e dos conceitos e teoremas que permitem abordar tais situações como tarefas matemáticas. A mesma ideia se aplica ao campo conceitual das estruturas multiplicativas.

Em Física, Vergnaud se interessou pelos campos conceituais da Mecânica (WEIL-BARAIIS; VERGNAUD, 1990) e da Eletricidade (VERGNAUD, 1993). O campo conceitual da Eletricidade, por exemplo, pode ser entendido como o conjunto de situações e esquemas de pensamento que organizam as ações do sujeito nessa área. Por outro lado, esse mesmo campo conceitual também diz respeito à análise e à dissociação dos conceitos de intensidade de corrente elétrica, diferença de potencial, resistência elétrica, energia elétrica, etc.

A dupla análise de um mesmo campo conceitual em termos de situações e de “esquemas de pensamento”, por um lado, e de conceitos como objetos de pensamento, por outro lado, dão conta das duas formas do conhecimento, operatória e predicativa (VERGNAUD, 2007, p. 36).

Vergnaud (1988, 1990) também considera campo conceitual como sendo, em primeiro lugar, um conjunto de situações para dar sentido aos conceitos. 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. Além disso, 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. Assim, o conceito piagetiano de ‘esquema’ torna-se fundamental na teoria dos campos conceituais uma vez que o desenvolvimento cognitivo consiste basicamente do repertório de esquemas que o sujeito tem à 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 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 (2004):

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 (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, mas pelo 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). Esses 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. Para que adquiram status de conhecimento científico precisam ser explicitados, compartilhados e avaliados quanto à sua pertinência e veracidade, respectivamente. Esse não é o caso dos invariantes operatórios que, na maioria das vezes, permanecem 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, 2004).

No capítulo seguinte, dedicado às etapas da pesquisa, são apresentados a natureza, o enfoque, o propósito, os sujeitos e as questões formuladas em cada um dos cinco estudos, de modo a oportunizar ao leitor uma visão do percurso metodológico realizado ao longo de toda a investigação, fundamentada nos dois aportes teóricos discutidos aqui.

4. ETAPAS DA PESQUISA

Este capítulo apresenta as etapas da pesquisa, que culminou com um estudo explanatório sobre as formas predicativa e operatória do conhecimento utilizadas por professores do Ensino Médio no enfrentamento de situações capazes de dar sentido ao campo conceitual da modelagem científica em Física, como mostra a Figura 3.

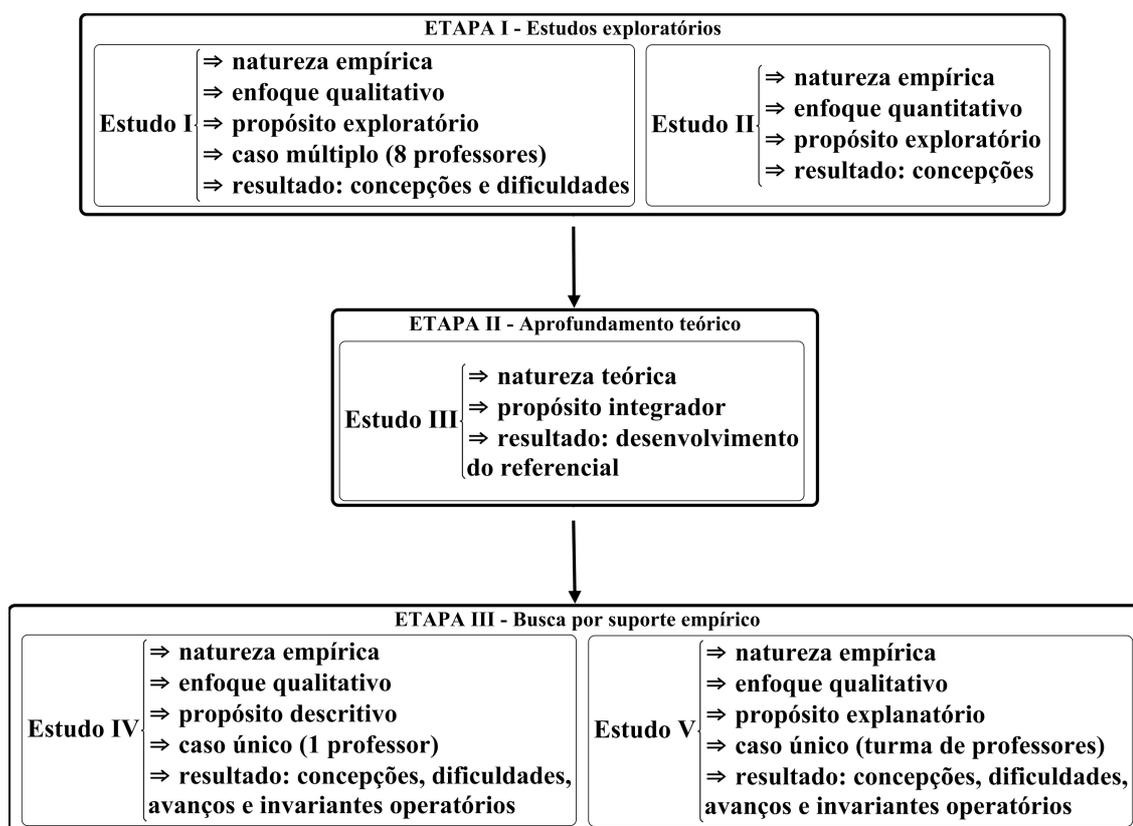


Figura 3 – As três etapas da pesquisa.

4.1. Etapa I - Estudos exploratórios

4.1.1. Estudo I - Estudo empírico qualitativo exploratório

O Estudo I fez parte da Etapa I da pesquisa e foi apresentado na forma de dissertação de Mestrado em Ensino de Física apresentada pelo autor, em 2008, no IF-UFRGS. Optou-se por descrevê-lo resumidamente aqui, tendo em vista que o mesmo se constituiu no estudo de

aproximação ao que, posteriormente, passou a se chamar de campo conceitual da modelagem científica em Física (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2008b).

Esse primeiro estudo foi realizado com dois objetivos específicos: implementar uma intervenção didática centrada na discussão de situações enfocando aspectos conceituais associados às noções de modelo e modelagem científica em Física, voltada para professores de Física do Ensino Médio; e, investigar as concepções e dificuldades evidenciadas pelos professores no enfrentamento dessas situações, apresentadas na forma de tarefas.

A intervenção didática foi implementada na forma de um curso a distância, intitulado ‘Fenômenos físicos e modelos científicos’, com duração de 40 horas distribuídas ao longo de oito semanas (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2009).

Para a infraestrutura virtual do curso foram utilizados dois *softwares*: o Ambiente de Ensino a Distância TelEduc¹⁷ e a ferramenta de informação e comunicação *Macromedia Breeze Meeting Server*. O TelEduc foi utilizado para promover a comunicação de modo assíncrono entre o ministrante¹⁸ e os participantes do curso, além de propiciar o acesso aos recursos e materiais didáticos utilizados. Já o *Breeze* serviu para promover a comunicação de modo síncrono entre o ministrante e os participantes e foi utilizado como suporte para as aulas virtuais em horários previamente agendados no TelEduc.

Participaram desse estudo um total de oito alunos, quatro homens e quatro mulheres. Quanto à formação inicial desses alunos, cinco haviam concluído o curso de Licenciatura Plena em Física, um estava por concluir e dois haviam concluído o curso de Licenciatura Plena em Matemática, mas lecionavam como professores de Física.

Durante o curso a distância, os alunos foram incentivados a ler seis textos de apoio, a participar de dois encontros presenciais, seis aulas virtuais e seis fóruns de discussão, bem

¹⁷ 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) e disponível em http://teleduc.cinted.ufrgs.br/pagina_inicial/index.php.

¹⁸ O ministrante do curso a distância, autor deste trabalho, foi quem atuou como pesquisador, coletando e analisando os dados de pesquisa. Tal opção deu-se em função do fato de que todas as aulas e discussões foram gravadas, respectivamente, no *Breeze* e no TelEduc, facilitando a coleta e análise dos mesmos por parte do pesquisador que, por outro lado, também esteve inserido no cenário de ensino como professor.

como a realizar dez tarefas enfocando aspectos conceituais associados aos modelos e à modelagem científica em Física, com fins didáticos. Ao final do curso, cada aluno elaborou um projeto, com o objetivo de experimentar as dificuldades ao planejar uma atividade didática voltada para estudantes do Ensino Médio enfatizando os aspectos conceituais discutidos no curso.

Os textos de apoio, as aulas virtuais, os fóruns de discussão e as tarefas propostas foram concebidos de modo a se relacionarem com os conhecimentos prévios dos alunos e abordaram situações físicas de interesse da Mecânica, Termodinâmica, Fluidos, Eletromagnetismo, Ótica e Física Atômica, em nível de Ensino Médio.

As tarefas consistiram basicamente na proposição de problemas extraídos e adaptados de um livro didático de Física do Ensino Médio (GASPAR, 2000) e na exploração de simulações computacionais disponíveis na *Internet*. Porém, as tarefas foram problematizadas de modo a estimular os alunos a refletirem sobre aspectos conceituais que costumam permanecer implícitos nas discussões em sala de aula. Se, por um lado, os alunos já estavam acostumados a buscar soluções matemáticas para as tarefas propostas, por outro lado, não estavam acostumados a refletir sobre aspectos do processo de modelagem científica nelas envolvidos (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2008c).

Cada um dos oito alunos foi analisado de forma independente com base nos dados coletados: em um questionário aplicado no início do curso; nas tarefas propostas ao longo do curso; e em uma entrevista semiestruturada realizada individualmente ao final do curso¹⁹. Após a análise de cada aluno por parte do professor-pesquisador foi possível responder às seguintes questões de pesquisa.

(i) Quais as concepções sobre modelos científicos evidenciadas pelos professores de Física do Ensino Médio durante o curso?

(ii) Quais as dificuldades enfrentadas pelos professores de Física do Ensino Médio nas situações de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, durante o curso?

¹⁹ O questionário, a sequência de tarefas propostas ao longo do curso a distância e o roteiro da entrevista estão disponíveis no Apêndice B.

Os principais resultados do Estudo I, que serão apresentados no Capítulo 5, estiveram relacionados, assim, ao enriquecimento de concepções sobre a natureza e o papel de modelos científicos e à identificação de dificuldades ao lidar com situações enfatizando aspectos conceituais do processo de modelagem científica, no contexto da Física, por parte de professores de Física do Ensino Médio.

4.1.2. Estudo II – Estudo empírico quantitativo exploratório

Ainda na etapa exploratória da pesquisa, Etapa I, um novo estudo empírico, com enfoque quantitativo, foi planejado para coletar outros dados sobre concepções de professores acerca dos modelos e da modelagem científica, no contexto da Física. Esse novo estudo empírico, denominado de Estudo II, buscou responder à seguinte questão de pesquisa.

(i) Em que medida as concepções de professores sobre a natureza dos modelos e o processo de modelagem científica em Física se relacionam com as suas concepções acerca da natureza da Ciência e da produção de conhecimento científico em geral?

A busca por uma resposta a essa questão deveu-se ao fato de que embora já existam instrumentos concebidos para investigar concepções sobre a ‘natureza da Ciência’ que contenham itens ou questões sobre ‘modelos científicos’, o autor entende que os mesmos não enfocam a natureza, a construção e a validação dos modelos científicos com o mesmo nível de detalhamento que o fazem para os demais aspectos do conhecimento científico em geral (BRANDÃO et al., 2011).

Tal nível de detalhamento parece ser crucial para investigar em que medida as concepções dos professores acerca da ‘natureza da Ciência’ estão correlacionadas às suas concepções sobre ‘modelos científicos’, ainda que uma tal correlação, por si só, não ateste sobre a possibilidade de transpor didaticamente os conhecimentos acerca de um construto para o outro, por parte de estudantes e professores. Por outro lado, parece que esses construtos precisam estar de alguma forma relacionados, caso seja possível utilizar-se de um para auxiliar na compreensão do outro.

Nesse sentido, o Estudo II teve como objetivo conceber e validar um questionário do tipo Likert para investigar em que medida tais concepções de professores se correlacionam. O questionário foi concebido com base na postura epistemológica adotada por Bunge (1960, 1974, 1989, 2007).

O questionário a ser validado foi concebido com 48 afirmativas, das quais 27 expressam concepções sobre a natureza da Ciência e a produção do conhecimento científico em geral e 21 expressam concepções sobre a natureza dos modelos e o processo de modelagem científica no contexto da Física. Os conteúdos das afirmativas enfatizaram quatro temas. O Quadro 3 apresenta os aspectos envolvidos nos conteúdos das afirmativas de cada tema abordado.

Quadro 4 - Conteúdos das afirmativas de cada tema abordado no questionário.

Tema	Conteúdo das afirmativas
Natureza do Conhecimento Científico (NCC)	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre teoria e realidade • Falibilidade do conhecimento científico • Provisoriedade e progresso do conhecimento científico
Construção e Validação do Conhecimento Científico (CVCC)	<ul style="list-style-type: none"> • Importância dos pressupostos teóricos na observação e/ou experimentação • Papel da comunidade científica • Confrontação entre resultados teóricos e experimentais • Metodologia científica
Natureza e Função dos Modelos Científicos (NFMC)	<ul style="list-style-type: none"> • Caráter representacional dos modelos • Papel mediador dos modelos entre teoria e realidade • Funções descritiva, explicativa e preditiva dos modelos • Modelos científicos e o ensino de ciências
Construção e Validação dos Modelos Científicos (CVMC)	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre modelo e teoria • Relação entre modelo e realidade • Multiplicidade de modelos • Generalização de modelos • Idealizações na modelagem de sistemas físicos

A fim de testar e aprimorar a validade de conteúdo²⁰ do instrumento foi solicitado a um grupo de três especialistas em Ensino de Física que analisassem o conteúdo de cada afirmativa. Embora nenhuma delas tenha sido descartada, como resultado dessa análise, diversas afirmativas tiveram seu conteúdo alterado, de modo a se alcançar um consenso intersubjetivo.

²⁰ Segundo Silveira (1993), um instrumento (teste, questionário, etc.) possui validade de conteúdo se os itens que o constituem são representativos do universo que pretende representar, ou ainda, se os itens são, de um ponto de vista teórico, indicadores da variável a ser medida, do construto.

O questionário foi aplicado a 218 respondentes e a cada um deles foi solicitado que se posicionasse em relação às afirmativas em uma escala que vai desde a concordância forte (completa e sem restrições) até a discordância forte. Cada afirmativa é consistente com o procedimento proposto por Likert (1932) para a medida de opinião ou de atitude. Os cinco níveis da escala de concordância são os seguintes: Concordo fortemente (CF), Concordo (C), Indeciso ou Sem opinião (I), Discordo (D) e Discordo fortemente (DF). A codificação das afirmativas está mostrada no questionário que está disponível no Apêndice C, assim como o tema para o qual cada afirmativa foi concebida.

Do total de respondentes: 50 possuíam pós-graduação (especialização, mestrado ou doutorado), 148 ensino superior completo e 20 ensino superior incompleto. Dentre eles, 86 eram homens, 100 mulheres e 32 não informaram o sexo. Em relação à formação inicial dos respondentes (curso de graduação concluído ou a concluir), 123 eram de Física, 48 de Matemática, 18 de Biologia, 16 de Química ou Engenharia e 13 de outros cursos.

A análise das respostas, que será apresentada no Capítulo 5, resultou: (i) na identificação de quatro fatores subjacentes ao conteúdo das afirmativas; e (ii) numa forte correlação entre as concepções sobre Ciência em geral e modelagem científica em Física.

Os resultados obtidos nos estudos I e II incentivaram o autor a planejar um novo ciclo de investigações acerca não só das concepções e dificuldades como também dos invariantes operatórios e avanços no processo de conceitualização de situações enfocando a modelagem científica, no contexto da Física, por parte de professores de Física do Ensino Médio.

4.2. Etapa II - Aprofundamento teórico

4.2.1. Estudo III - Estudo teórico integrador

Contudo, antes de iniciar esse novo ciclo de investigações foi necessário realizar um estudo de natureza teórica e propósito integrador, denominado de Estudo III, que resultou na construção do referencial desenvolvido a partir da proposição de que o processo de

modelagem científica pode ser visto como um campo conceitual relevante para o domínio de campos conceituais específicos da Física. O Estudo III buscou responder à seguinte questão de pesquisa:

(i) Como conciliar as ideias de Vergnaud e Bunge, de modo a construir um referencial para o Ensino de Física capaz de sustentar uma estratégia didática centrada na modelagem científica?

Como já foi dito, enquanto o primeiro supõe que o âmago do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização, o segundo entende que a chave para a compreensão da atividade científica moderna são os modelos. Tendo isso em mente, para responder essa questão, partiu-se da seguinte proposição teórica.

Para progredir em campos conceituais específicos da Física é fundamental desenvolver concepções e competências que permitam lidar com situações e problemas que requerem, além de conceitos científicos, o domínio de conceitos de outra natureza, porém inseparáveis do conhecimento em Física, a saber: ‘idealização’, ‘aproximação’, ‘referente’, ‘variável’, ‘parâmetro’, ‘domínio de validade’, ‘grau de precisão’, ‘expansão’ e ‘generalização’ de modelos didático-científicos.

Tais conceitos compõem o que passou a se chamar de ‘estrutura conceitual de referência’ (ECR) associada ao campo conceitual da modelagem científica em Física e que será apresentada no próximo capítulo como resultado do Estudo III.

A partir dessa proposição tornou-se imperioso, então, delimitar o campo conceitual da modelagem científica em Física em termos das situações capazes de dar sentido aos conceitos-chave a serem introduzidos; dos invariantes operatórios ditos ‘de referência’ associados a esses conceitos, isto é, do que esperar-se-ia que um sujeito mobilizasse em termos de conhecimentos, ainda que implicitamente, para modelar tais situações; e das possíveis representações simbólicas associadas aos invariantes que, por sua vez, estão relacionados às situações.

Tal demarcação foi objeto do Estudo III e evidenciou o fato de que o campo conceitual da modelagem científica em Física pode ser visto como uma unidade de estudo

frutífera para dar sentido às formas predicativa e operatória do conhecimento utilizadas pelos professores de Física do Ensino Médio em situações de modelagem nos diversos campos conceituais específicos da Física. Tais conhecimentos, como apontam Weil-Barais e Vergnaud (1990), podem atuar como precursores ou vieses cognitivos, ou ainda como obstáculos epistemológicos à compreensão dos conhecimentos em Física.

Delimitado o campo conceitual da modelagem científica em Física, deu-se início à realização da Etapa III da pesquisa, constituída por dois estudos empíricos qualitativos: o Estudo IV, de propósito descrito, e o Estudo V, de propósito explanatório, ambos com o intuito de dar sentido às concepções, dificuldades, avanços e invariantes operatórios utilizados por professores de Física do Ensino Médio, alunos do Mestrado Profissional em Ensino de Física (MPEF) do IF-UFRGS, na disciplina Tecnologias da Informação e da Comunicação no Ensino de Física II (TICs-II).

4.3. Etapa III – Busca por suporte empírico

4.3.1. Enfoque teórico-metodológico dos estudos IV e V

Segundo Vergnaud (1988), o estudo sistemático de um campo conceitual inicia com a identificação e a classificação de situações potencialmente capazes de dar sentido aos conceitos que se pretende que os sujeitos dominem e que, conseqüentemente, possam facilitar o desenvolvimento cognitivo a partir do processo de conceitualização (VERGNAUD, 1996). Posteriormente, deve-se “coletar dados sobre procedimentos e outras maneiras através das quais os estudantes expressam seu raciocínio” (VERGNAUD, 1988, p. 149). Assim, um ciclo de investigação tem início com o delineamento de situações e problemas e a correspondente identificação de invariantes operatórios, a partir da observação e análise dos fenômenos que ocorrem. Então, com objetivo de melhorar o anterior, inicia-se um novo ciclo de investigação e assim por diante. Dessa forma, Vergnaud entende que o estudo de um campo conceitual é um programa que deve ser pensado a longo prazo.

Tendo em vista a abordagem canônica ao estudo de um campo conceitual proposta por Vergnaud, os resultados obtidos nos estudos I e II e os propósitos dos estudos IV e V,

elegeu-se a estratégia de pesquisa de estudo de caso, na acepção de Yin (2005), como o enfoque metodológico a ser utilizado nos mesmos.

Segundo Yin (2005), a estratégia de pesquisa de estudo de caso é apenas uma entre tantas outras formas de se realizar pesquisa em Ciências Sociais²¹. Dentre as outras maneiras de se fazer pesquisa nessa área, ele exemplifica com experimentos, levantamentos, pesquisas históricas e análise de informações em arquivos. O que diferencia uma estratégia das demais são as vantagens e as desvantagens que cada uma delas apresenta em relação às outras, quanto: ao tipo de questão da pesquisa; ao controle que o pesquisador possui sobre os eventos comportamentais efetivos; e ao foco em fenômenos históricos, em oposição a fenômenos contemporâneos (ibid., p. 19). Além disso, o propósito de cada estratégia pode ter um caráter: exploratório, descritivo ou explanatório.

Em geral, a estratégia de estudo de caso apresenta vantagens distintas sobre as demais quando: “faz-se uma questão do tipo como ou por que sobre um conjunto contemporâneo de acontecimentos, sobre o qual o pesquisador tem pouco ou nenhum controle” (ibid., p. 28). Desta forma, Yin define a estratégia de estudo de caso por meio de dois enunciados técnicos:

1. um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos (ibid., p. 32);
2. a investigação de estudo de caso enfrenta uma situação tecnicamente única em que haverá muito mais variáveis de interesse do que pontos de dados, e, como resultado, baseia-se em várias fontes de evidências, com os dados precisando convergir em um formato de triângulo, e, como outro resultado, beneficia-se do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para conduzir a coleta e a análise de dados (ibid., p. 33).

Nos estudos IV e V, pode-se dizer que o fenômeno contemporâneo a ser investigado foi o do processo de conceitualização do real, por parte de professores de Física do Ensino Médio, no contexto de uma disciplina de pós-graduação, com ênfase na estratégia da modelagem computacional, com fins didáticos. Já a indefinição dos limites entre o fenômeno a ser investigado e o contexto no qual ele ocorreu se deveu ao fato de que a disciplina de pós-graduação constituiu-se, ao mesmo tempo, tanto no contexto de ensino quanto no de pesquisa. Isto é, ao mesmo tempo em que se buscou favorecer o desenvolvimento de concepções e

²¹ Embora este projeto diga respeito a uma pesquisa educacional e não em Ciências Sociais, é possível utilizar a estratégia de estudo de caso, com as devidas adaptações, para a análise de fenômenos educacionais.

competências por parte dos alunos da disciplina, por um lado, se pretendeu investigá-las, por outro. Cabe salientar que parte dessa indefinição pôde ser minimizada fazendo com que o professor da disciplina, preocupado somente em favorecer o desenvolvimento de tais conhecimentos por parte dos seus alunos, e o pesquisador, interessado apenas em identificar o uso de tais conhecimentos pelos sujeitos da pesquisa, fossem sujeitos distintos.

Continuando a traçar um paralelo entre a definição de Yin para a estratégia de estudo de caso e o modo como foi adotada na presente pesquisa também se pode dizer que a situação tecnicamente única, em que há muito mais variáveis de interesse do que pontos de dados, deveu-se aos seguintes fatos: (i) as concepções sobre modelos e modelagem científica, no contexto da Física, como apontou o Estudo II, parecem estar fortemente imbricadas às concepções do sujeito acerca da natureza da Ciência e da produção de conhecimento científico em geral; assim como (ii) as dificuldades, os avanços e os invariantes operatórios para lidar com situações de modelagem em Física, como apontou o Estudo I, parecem ser fortemente dependentes dos conteúdos de conhecimento adquiridos ao longo da vida acadêmico-profissional por parte daquele que os possui. Ou seja, o campo conceitual da modelagem didático-científica em Física é abrangente e dependente de muitas variáveis que não podem ser facilmente controladas.

Por tudo isso, a proposição teórica que norteou os estudos IV e V pode ser enunciada da seguinte forma: o processo de modelagem científica permeia toda a Física e os elementos conceituais necessários para o seu domínio desempenham um papel fundamental nas explicações e práticas científicas. Consequentemente, as explicações dos professores de Física do Ensino Médio, seja quando estão ensinando ou aprendendo para ensinar, devem estar impregnadas de concepções associadas aos conceitos de ‘modelo’ e ‘modelagem científica’ em Física, assim como os seus esquemas de pensamento devem conter invariantes operatórios para lidar com situações capazes de dar sentido aos conceitos de ‘idealização’, ‘aproximação’, ‘referente’, ‘variável’, ‘parâmetro’, ‘domínio de validade’, ‘grau de precisão’, ‘expansão’ e ‘generalização’ de modelos didático-científicos.

A disciplina de pós-graduação TICs-II integra a estrutura curricular do MPEF, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnFis), do IF-UFRGS. O MPEF está voltado para a melhoria da qualificação de professores de Física em exercício na Educação

Básica. Oferecida sempre no segundo semestre do ano letivo, TICs-II possui caráter obrigatório e carga horária de 60 horas-aula, distribuídas em 4 horas-aula/semana²².

O objetivo de TICs-II é familiarizar o professor de Física com recursos da tecnologia da informação e da comunicação utilizáveis no Ensino de Física, especialmente as potencialidades de ferramentas de modelagem e de simulação computacionais em Física, com vistas à sua transposição didática para o Ensino Médio.

A partir de 2008/02, uma proposta de ensino centrada no referencial desenvolvido no Estudo III passou a ser implementada em TICs-II. Assim, os dois objetivos de ensino da disciplina passaram a ser a introdução de noções epistemológicas contemporâneas e o desenvolvimento de competências associadas à construção e à validação de modelos computacionais com fins didáticos, por meio da ressignificação de atividades que costumam ser abordadas tradicionalmente em cursos de formação inicial de professores de Física (VEIT; BRANDÃO; ARAUJO, 2009).

Face à natureza essencialmente prática da disciplina, a avaliação dos alunos está baseada na participação, na assiduidade e no desempenho nas atividades realizadas na sala de aula, em pequenos grupos ou individualmente. Na avaliação do desempenho de cada aluno são levados em conta os domínios dos recursos computacionais, dos conteúdos de Física e dos aspectos conceituais acerca dos modelos e da modelagem computacional no Ensino de Física.

As aulas são de caráter teórico-prático. A abordagem teórica é feita por meio de aulas expositivas, leituras e discussão de artigos de referência no Ensino de Física. As aulas de caráter prático têm lugar em laboratório de informática, onde há disponibilidade de um microcomputador por aluno. Embora a disciplina seja ministrada na modalidade presencial, os alunos fazem uso de uma plataforma de ensino a distância para a entrega e a postagem de materiais e para discussão em fóruns. Essa prática é adotada com o intuito de que os alunos possam continuar trabalhando colaborativamente mesmo fora da sala de aula.

²² A professora responsável por TICs-II, coorientadora deste trabalho, ministra a disciplina desde 2002/02. Nesse ano teve início o PPGEnFis do IF-UFRGS com a primeira turma (2002/01) do MPEF. A partir de 2008/02 a disciplina passou a ter 4 horas-aula/semana, ao invés de 3 horas-aula/semana como em semestres anteriores.

Tanto em 2008/02, quando foi realizado o Estudo IV, quanto em 2009/02, quando foi realizado o Estudo V, a forma predicativa do conhecimento dos alunos acerca do campo conceitual da modelagem didático-científica foi analisada a partir da coleta de dados, fundamentalmente, nas formas escrita e verbal. Já o estudo da forma operatória do conhecimento foi realizado a partir das observações e da análise das gravações em áudio dos alunos em ‘situação de modelagem computacional’, por parte do pesquisador, autor deste trabalho, que esteve presente nas 120 horas-aula ministradas em TICs-II ao longo de 2008/02 e 2009/02.

Por ‘situação de modelagem computacional’ se quer dizer as situações em que os alunos realizam uma atividade de exploração e/ou construção de uma simulação ou um modelo computacional, individual ou coletivamente, com ou sem o auxílio do instrumento heurístico conhecido como diagrama AVM (dAVM).

A sigla AVM quer dizer Adaptação do Vê de Gowin para a Modelagem e simulação computacionais aplicadas ao Ensino de Física (ARAÚJO; VEIT; MOREIRA, 2006, 2012).

4.3.2. Diagrama AVM: uma adaptação do Vê de Gowin para a modelagem computacional

O dAVM é um instrumento que auxilia o sujeito envolvido na atividade de modelagem computacional a explicitar a interação entre os domínios conceitual e metodológico relacionados, respectivamente, ao modelo teórico e à sua exploração e/ou implementação computacional, como mostra a Figura 4.

Em função disso, o dAVM constituiu-se na principal fonte de evidências sobre a forma operatória do conhecimento utilizada pelos professores em atividades de modelagem computacional com fins didáticos e, por conseguinte, no campo conceitual da modelagem didático-científica em Física. Adicionalmente, o dAVM também foi utilizado como instrumento de avaliação dos alunos (professores de Física do Ensino Médio) pelo professor da disciplina TICs-II. Nesse sentido, as categorias de análise utilizadas para investigar e avaliar os conhecimentos mobilizados pelos alunos nas situações de modelagem computacional propostas em TICs-II estiveram relacionadas aos seguintes campos dos dAVMs por eles construídos: fenômeno de interesse, questões-foco, situação-problema,

referentes reais, idealizações/aproximações, resultados conhecidos, previsões, validação do modelo, respostas às questões-foco e possíveis generalizações e expansões do modelo.

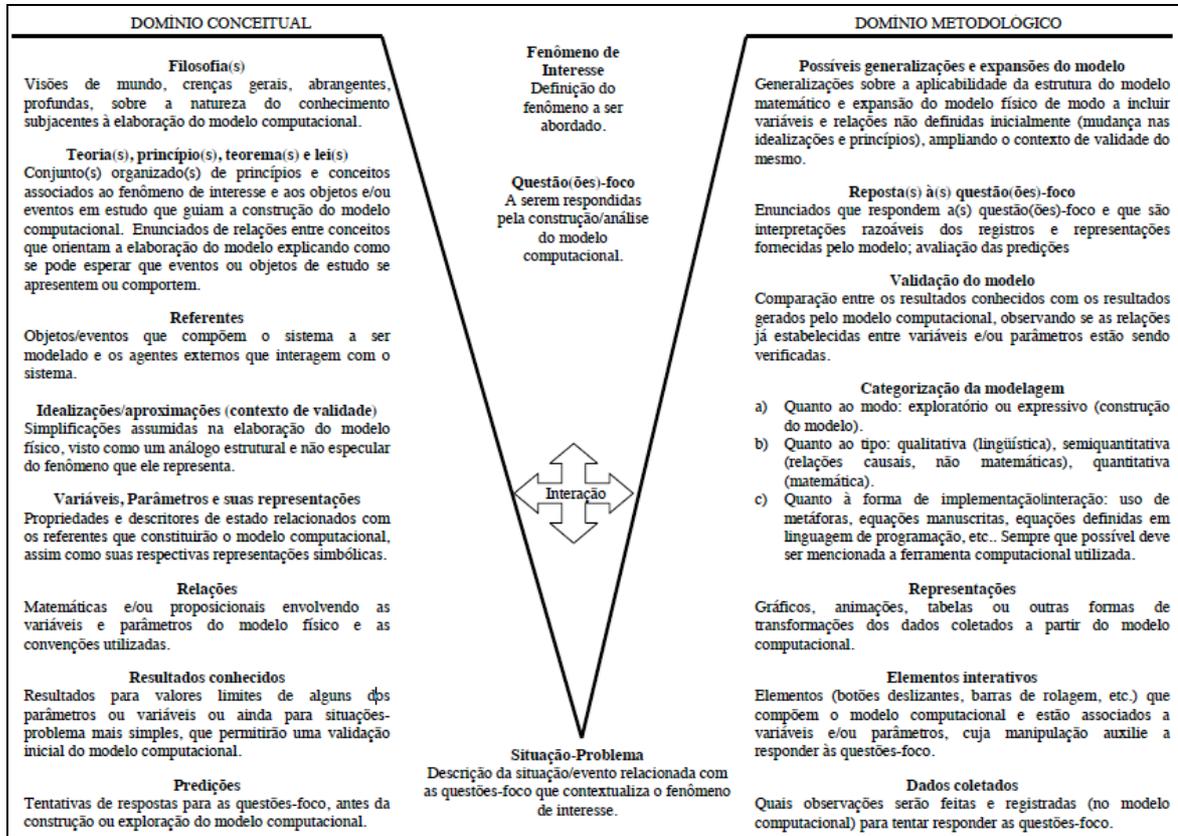


Figura 4 - O instrumento heurístico conhecido como diagrama AVM.

O lado esquerdo concentra os aspectos teóricos do planejamento/análise do modelo computacional. Nesse lado aparecem as ‘teorias, princípios, teoremas e/ou leis’ que guiam a elaboração do modelo; os ‘referentes reais’ (objetos/fenômenos reais ou supostos como tais) que se quer modelar; as ‘idealizações e aproximações’ assumidas, que determinam o contexto de validade do modelo; as ‘variáveis, parâmetros e constantes (e suas representações)’ usados para representar estados e propriedades dos referentes do modelo; as ‘relações matemáticas e/ou proposicionais’ (na forma de um enunciado técnico, como ‘quanto maior isso... menor aquilo’); e os ‘resultados conhecidos’ usados na validação inicial do modelo, que podem ser depreendidos das teorias, princípios, teoremas e leis adotados na construção do modelo científico que se quer representar no computador e que também dependerão do conhecimento prévio do modelador sobre o sistema representado. Por último, temos as ‘predições’ do sujeito na tentativa inicial de responder as questões-foco levando em conta aquilo que ele sabe, antes de construir/executar o modelo computacional. Se o sujeito é um aprendiz do conteúdo, muitas vezes suas previsões não estarão corretas.

No lado direito do diagrama AVM, correspondente ao domínio metodológico, concentram-se os aspectos pertinentes à busca de respostas: os ‘registros’ realizados para tentar responder as questões-foco; as ‘formas de apresentação dos registros’, tais como tabelas, gráficos, animações, etc.; os ‘elementos interativos’ que permitem alterar parâmetros, variáveis e constantes de modo a auxiliar a procura de respostas às questões-foco; e a ‘categorização da atividade computacional’, conforme a seguinte classificação: quanto ao tipo (‘simulação’: não permite visualizar o modelo computacional subjacente; ou ‘modelagem’: permite alterar o modelo computacional subjacente); quanto ao modo (‘expressivo’: quando o modelo computacional é construído pelo sujeito; ou ‘exploratório’: quando o sujeito apenas o explora); e quanto à forma de implementação/interação: uma descrição de como o modelo foi implementado no computador (através de metáforas, linguagem de programação, inserção de equações semelhante à forma manuscrita, etc.) e da ferramenta utilizada (*PowerSim*, *Fortran*, *Modellus*, etc.).

Tanto em 2008/02 quanto em 2009/02 a principal ferramenta utilizada pelos alunos de TICs-II nas atividades de modelagem computacional (exploratórias e expressivas) foi o *software Modellus*, nas suas versões 2.5 e 4.01. O *software Modellus* é uma ferramenta de modelagem quantitativa, distribuída livremente, que permite ao usuário escrever modelos matemáticos baseados em funções, iterações e equações diferenciais, de modo muito semelhante ao que faria com lápis e papel (VEIT; TEODORO, 2002; VEIT; MORS; TEODORO, 2002).

Ainda no lado direito do Vê, temos a etapa de ‘validação do modelo computacional’, onde são comparados resultados conhecidos para valores limites de alguns dos parâmetros ou variáveis, ou ainda para situações-problema mais simples, com os resultados gerados pelo modelo computacional. Caso haja discordância entre ambos, o modelo é considerado insatisfatório e deverá ser modificado até que passe a reproduzir os resultados conhecidos. Nesse estágio, diz-se que o modelo está validado. Então, passa-se a buscar as ‘respostas à(s) questão(ões)-foco’, que sejam interpretações razoáveis dos dados coletados e das representações fornecidas pelo modelo, permitindo também a avaliação das previsões. Por último, tem-se as ‘possíveis generalizações e expansões do modelo’, que são as generalizações sobre a aplicabilidade da estrutura do modelo e como expandi-lo de modo a incluir variáveis e relações não consideradas inicialmente (mudança nos pressupostos teóricos e princípios), ampliando o seu contexto de validade.

A combinação de atividades de modelagem e simulação computacionais com o uso do dAVM mostrou-se uma estratégia de ensino valiosa (ARAÚJO, 2005; RÍOS; VEIT; ARAÚJO, 2011), pois alia as potencialidades dessas atividades ao poder do dAVM para auxiliar a explicitação dos aspectos conceituais que costumam permanecer implícitos na criação, exploração, validação e revisão de simulações e modelos computacionais. Como argumentam Medeiros e Medeiros (2002):

Pressupostos contidos nas necessárias simplificações que fundamentam os modelos, nos quais as simulações estão baseadas, passam freqüentemente despercebidos pelos estudantes e mesmo por muitos professores (p. 80-81).

4.3.3. Estudo IV - Estudo empírico qualitativo descritivo

Como mencionado anteriormente, os aspectos conceituais subjacentes às formas predicativa (concepções) e operatória (invariantes operatórios) dos conhecimentos sobre modelos e modelagem científica, por parte de professores de Física do Ensino Médio, podem atuar como precursores cognitivos, vieses cognitivos ou obstáculos epistemológicos no processo de conceitualização do real em Física.

Partindo dessa perspectiva, tendo propósito descritivo e adotando a estratégia de pesquisa de estudo de caso único (uma professora de Física), na acepção de Yin (2005), o Estudo IV teve como objetivo responder às seguintes questões:

(i) Quais e como parecem atuar na conceitualização do real em Física as concepções de modelo científico evidenciadas por uma aluna com boa compreensão dos conteúdos disciplinares de Física, em TICs-II?

(ii) Quais e a que se devem as dificuldades enfrentadas e os avanços obtidos na conceitualização do real em Física pela aluna nas atividades de modelagem que lhe foram propostas, na forma de tarefas, em TICs-II?

(iii) Quais e como parecem atuar na conceitualização do real em Física os invariantes operatórios evidenciados pela aluna nas atividades de modelagem que lhe foram propostas, na forma de tarefas, em TICs-II?

A estratégia de pesquisa adotada no Estudo IV deveu-se à possibilidade de acompanhar e descrever, durante um semestre letivo²³, a trajetória de aprendizagem de uma aluna que, sabidamente, dominava a maioria dos conteúdos envolvidos nas situações de modelagem propostas em TICs-II. Nesse sentido, a própria escolha do caso (que passará a ser chamado pelo nome fictício de Raquel) permitiu eliminar a hipótese que poderia explicar possíveis dificuldades enfrentadas pela aluna, no campo conceitual da modelagem didático-científica em Física, meramente por deficiências de conteúdo. Com isso não se quer dizer que Raquel não tenha enfrentado dificuldades relacionadas aos conteúdos de Física envolvidos nas atividades de modelagem.

Raquel obteve a primeira colocação no processo seletivo para ingresso no curso de Licenciatura em Física na UFRGS e diplomou-se em quatro anos, tempo recomendado para o término do curso. Em 2008 ingressou no MPEF, onde desenvolveu trabalho na área do Ensino de Astronomia. Fora do meio acadêmico atuava como professora de Física da Educação Básica, com carga horária semanal de 18 horas-aula, possuindo três anos de experiência profissional.

Os dados coletados por meio de: duas entrevistas, uma no início e outra no final da disciplina; um teste de associação escrita de conceitos²⁴; observações participativas enquanto a aluna realizou seis atividades exploratórias de modelagem computacional apoiadas no uso do dAVM; e uma atividade expressiva de modelagem computacional com auxílio do dAVM, permitiram investigar as formas predicativa e operatória do conhecimento utilizadas por Raquel no campo conceitual da modelagem didático-científica em Física.

4.3.4. Estudo V - Estudo empírico qualitativo explanatório

O Estudo V, por sua vez, buscou estender os resultados do Estudo IV para a turma de professores de Física do Ensino Médio matriculados em TICs-II em 2009/02²⁵. Contudo, essa

²³ O modo como TICs-II foi planejada e desenvolvida em 2008/02 está mostrado no Apêndice D.

²⁴ Esse teste destinou-se a verificar quais palavras, e em que grau de importância, a aluna associava ao conceito de 'modelo', no contexto da Física, às épocas do início e final de TICs-II. Na prática, o teste é realizado do seguinte modo. Após o sujeito associar certa quantidade de palavras ao conceito que lhe foi apresentado, ele deve ordená-las em ordem crescente, atribuindo o número 1 à palavra que mais se relaciona com o conceito, e assim sucessivamente (SANTOS; MOREIRA, 1991).

²⁵ O modo como TICs-II foi planejada e desenvolvida em 2009/02 está mostrado no Apêndice E.

busca não teve como objetivo generalizar os resultados do Estudo IV para uma população maior de professores, mas dar sentido às formas predicativa e operatória do conhecimento dos alunos de TICs-II em ‘situações de modelagem computacional’ em Física, com fins didáticos.

Em relação a isso, Yin argumenta que estudos de caso: da mesma forma que os experimentos em Ciências Sociais, são generalizáveis a proposições teóricas, e não a populações ou universos; e não precisam demorar muito tempo, pois o pensamento contrário decorre da confusão entre o método de estudo de caso com um método específico de coleta de dados, como etnografia ou observação participante (Yin, 2005, p. 29-30).

Em 2009/02 a turma de TICs-II era composta, inicialmente, por uma aluna e dez alunos. Quanto à formação inicial dos alunos, todos haviam concluído o curso de Licenciatura Plena em Física. No entanto, ao longo das três primeiras semanas, três alunos cancelaram a matrícula em TICs-II, alegando impossibilidade de cursá-la por motivos particulares. Logo, permaneceram na disciplina uma aluna e sete alunos que serão chamados pelos nomes fictícios de Alison, Élvís, Gerônimo, Gilson, Luis Guilherme, Luis Pedro, Rosária e Robson.

Os dados coletados através de: entrevistas individuais, uma no início e outra no final da disciplina; testes de associação escrita de conceitos, um no início e outro no final; observações dos alunos realizando e apresentando suas atividades de modelagem exploratórias e expressivas, apoiadas ou não no dAVM; e análise de avaliações individuais, permitiram responder às seguintes questões de pesquisa:

(i) Quais e como parecem atuar na conceitualização do real em Física as concepções de modelo científico evidenciadas por uma turma de oito alunos, em TICs-II?

(ii) Quais e a que se devem as dificuldades enfrentadas e os avanços obtidos na conceitualização do real em Física pelos alunos nas atividades de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, em TICs-II?

(iii) Quais e como parecem atuar na conceitualização do real em Física os invariantes operatórios evidenciados pelos alunos nas atividades de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, em TICs-II?

Como se pode constatar, os estudos IV e V buscaram dar suporte empírico ao referencial desenvolvido no Estudo III tentando responder questões de mesma natureza. Tais questões dizem respeito não só à forma predicativa como também à forma operatória do conhecimento utilizadas por professores de Física do Ensino Médio no enfrentamento de situações de modelagem propostas em TICs-II. No entanto, esses estudos se diferenciaram em relação à estratégia de pesquisa adotada. Enquanto o Estudo IV teve um propósito mais descritivo e enfocou a trajetória de uma aluna em TICs-II, o Estudo V teve um caráter mais explanatório e enfocou uma turma de alunos de TICs-II, como ver-se-á no próximo capítulo, em que são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos cinco estudos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo é reservado à apresentação e à discussão dos resultados obtidos nas etapas I, II e III da pesquisa. A Etapa I foi composta pelos estudos I e II, ambos de natureza empírica e propósito exploratório, o primeiro com enfoque qualitativo e o segundo quantitativo. A Etapa II consistiu no estudo de natureza teórica e propósito integrador. Por fim, a Etapa III foi constituída pelos estudos IV e V, ambos de natureza empírica e enfoque qualitativo: um de propósito descritivo e o outro explanatório.

5.1. Etapa I

5.1.1. Estudo I²⁶

No primeiro encontro presencial do curso a distância ‘Fenômenos físicos e modelos científicos’ solicitou-se aos oito alunos que respondessem ao questionário sobre modelos, teorias e conhecimento científico em geral. Ainda que se reconheça o caráter superficial dessa sondagem, é interessante salientar algumas concepções subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos sobre o papel e a natureza dos modelos científicos, sintetizados no Quadro 4.

Quadro 5 - Concepções subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos no início do curso.

Papel dos modelos científicos	Natureza dos modelos científicos
Padrão utilizado para avaliar a coerência das leis, princípios e teorias científicas.	Descrição aproximada da natureza.
	Ferramenta (uma simulação computacional, por exemplo) para descrever um fenômeno físico.
Método para avaliar a maturidade das teorias científicas.	Explicação aperfeiçoável de um fenômeno físico.
	Conjunto de fatores (entidades) e as relações entre elas que permitem estudar algo.

A exemplo do estudo realizado por Islas e Pesa (2002), em nenhuma das respostas foi possível identificar explicitamente a noção de modelo enquanto representação simplificada de um sistema ou fenômeno real. Três dos oito alunos associaram a noção de modelo

²⁶ Os resultados deste estudo foram publicados na forma de artigo (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2010).

científico a um delineamento metodológico característico da Ciência, que serve de exemplo ou norma, para avaliar a coerência, a maturidade e a necessidade das teorias científicas. Outros dois outros alunos enfatizaram o caráter limitado e provisório dos modelos científicos por descreverem os fenômenos físicos de forma aproximada e sob constante reformulação. A partir desse questionário também inferiu-se que um sexto aluno apresentava baixo nível de conceitualização acerca da noção de modelo científico em Física. Sua concepção parecia estar associada a um artefato que pode ser reproduzido tantas vezes quantas forem necessárias para um fim específico. Por sua vez, uma sétima aluna associou a noção de modelo científico a um conjunto de variáveis articuladas por meio de hipóteses que precisam ter consistência teórica e ser corroboradas empiricamente²⁷.

O Quadro 5 sintetiza as concepções subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos sobre o papel e a natureza dos modelos científicos, nas tarefas e fóruns de discussão realizados durante as duas primeiras semanas do curso.

Quadro 6 - Concepções subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos em duas semanas de curso.

Papel dos modelos científicos	Natureza dos modelos científicos
Simular a realidade nas situações em que se mostra inacessível.	Analogia com situações familiares.
	Enunciado de lei, princípio, teoria geral e campo de interesse da Física.
	Explicação construída a partir da formulação de hipóteses e analogias.
Aproximar a teoria da realidade.	Representação simplificada da realidade.
Não faz sentido modelar a realidade quando se tem acesso direto ao fenômeno de interesse.	Representação aperfeiçoável que descreve, da melhor forma possível, os fenômenos físicos.

Nesse momento do curso, já era possível notar uma mudança de postura dos alunos, principalmente, em relação ao papel dos modelos científicos, à exceção do último aspecto salientado na coluna esquerda do Quadro 5. Além disso, foi possível notar a presença da noção de que os modelos são representações da realidade, como aponta o último aspecto salientado na coluna direita, apesar de estar acompanhada da ideia de ‘melhor representação possível’. Isso porque tal ideia pode atuar como obstáculo à compreensão de uma noção fundamental quando se pensa em modelagem científica: a de que não existem modelos corretos, mas sim uns mais adequados do que outros por enfatizarem determinados aspectos negligenciados pelos demais. Reside aí a importância de oportunizar aos alunos o

²⁷ No primeiro encontro presencial do curso estiveram presentes sete dos oito alunos analisados.

enfrentamento de situações que favoreçam o uso das diversas representações possíveis para um único sistema (ou classe de sistemas).

Ao final do curso, por ocasião do segundo encontro presencial, foi realizada uma entrevista em busca de evidências que pudessem indicar algum tipo de mudança na postura dos alunos sobre o papel e a natureza dos modelos científicos. O Quadro 6 sintetiza as concepções subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos ao final do curso²⁸.

Quadro 7 - Concepções subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos ao final do curso.

Papel dos modelos científicos	Natureza dos modelos científicos
Ferramenta para construir uma cópia aproximada da realidade.	Aproximação da realidade.
Instrumento para análise de fenômenos físicos.	Conceito, ideia e teoria que possibilitam analisar experiências, que possuem limitações e erros, e que evoluem no tempo.
Maneira de aproximar o fenômeno físico do aluno.	Descrição de um fenômeno a partir do conhecimento prévio, de idealizações e de expansões.
Tentativa de explicação de fatos da natureza, levando em consideração os pressupostos teóricos existentes.	Seleção conveniente de variáveis para descrever um evento.
Artifício para estudar uma situação real.	

Analisando o Quadro 6, destacam-se as seguintes concepções: 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. Acredita-se que a presença de tais aspectos se deva, especialmente: à discussão realizada com os alunos durante o quarto encontro virtual, em que utilizou-se 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 ideia de que os modelos são representações aproximadas da realidade; e à atividade realizada em conjunto com os alunos, onde se construiu um modelo capaz de responder algumas questões formuladas previamente sobre o ato de caminhar.

²⁸ Embora algumas das concepções subjacentes aos enunciados explicitados pelos professores sobre o papel dos modelos científicos pudessem estar na coluna das concepções acerca da natureza dos modelos científicos, e vice-versa, a classificação adotada levou em conta, antes de tudo, o questionamento que lhe deu origem.

Na Tarefa 1²⁹, três alunos salientaram o papel mediador dos modelos entre teoria e realidade. Nessa tarefa se inferiu que a ideia de modelo como imagem especular da realidade aparecia de forma implícita nos enunciados de dois alunos, visto que eles pareciam conceber os modelos como um construto que deve apreender da melhor forma possível toda a complexidade do sistema ou fenômeno físico a que se refere. Já outra aluna entendia justamente o contrário, isto é, que apesar de essenciais para a compreensão da realidade, deveria ser enfatizado para os estudantes que os modelos possuem simplificações. Para outro aluno, os modelos servem como uma ferramenta para o entendimento das teorias científicas, o qual deve ser o objetivo principal do professor ao ensinar.

Na Tarefa 2³⁰, das 34 situações físicas analisadas, a noção de modelo como um enunciado de lei ou teoria científica obteve a maior representatividade (estando presente em 18 respostas) entre os oito alunos. Foi possível identificar, ainda, quatro outras ideias associadas à noção de modelo científico com a mesma representatividade (4 respostas para cada): modelo como sinônimo de equação matemática; modelo enquanto analogia; modelo enquanto situação exemplar que pode exibir o comportamento a ser estudado; e o reconhecimento que em algumas situações não é preciso construir modelos, pois o que se pretende investigar é diretamente acessível aos sentidos. Nessa tarefa, novamente, evidenciou-se a dificuldade de um aluno em propor modelos científicos capazes de responder as questões-foco por ele formuladas.

Mas o Estudo I também teve como objetivo identificar dificuldades enfrentadas pelos alunos ao lidar com situações de modelagem em Física. A primeira dificuldade enfrentada pelos alunos foi a de propor questões que pudessem ser respondidas com o uso ou a construção de modelos científicos. Segundo Vergnaud (1983, p. 401), de nada adianta contornar as dificuldades em um campo conceitual. Elas precisam ser superadas e enfrentadas pelo sujeito que as possui. Nesse sentido, não existem receitas que ensinem o sujeito a propor questões que o levem a construir ou selecionar modelos apropriados para respondê-las.

²⁹ A Tarefa 1 consistiu na interpretação de um texto extraído da obra de Gaspar (2000), no qual o autor expõe suas ideias sobre modelos no contexto da Ciência. Após a leitura do texto, os professores deveriam se posicionar a respeito das ideias apresentadas pelo autor.

³⁰ A Tarefa 2 continha cinco situações de interesse da Física que deveriam ser problematizadas com a formulação, por parte dos alunos, de uma ou mais questões-foco interessantes sobre as mesmas. Em seguida, era solicitado aos alunos que propusessem modelos científicos capazes de auxiliar na busca por respostas às questões-foco formuladas por eles.

Outra dificuldade associada ao que foi exposto acima, diz respeito ao fato de que os alunos não percebem a dependência das idealizações com as diferentes molduras teóricas, a partir das quais as situações podem ser problematizadas. Atividades em que o sujeito tenha a oportunidade de problematizar situações particulares munidos de diferentes teorias científicas podem contribuir para estreitar as relações entre as questões a serem formuladas, as idealizações a serem assumidas e os modelos (representações) a serem construídos.

No que diz respeito às idealizações e aproximações, Portides (2007) afirma que embora não haja consenso nem mesmo entre os filósofos e cientistas de como elas influenciam as representações teóricas, do ponto de vista do ensino de ciências, a compreensão de suas relações e diferenças pode contribuir para a compreensão do processo da modelagem científica. Como exemplo de situação a ser explorada, o autor discute a modelagem do pêndulo simples para dar sentido às propriedades lógicas e relações que caracterizam esses conceitos.

Outra dificuldade apresentada pelos alunos do curso a distância foi a de identificar, diferenciar e selecionar os referentes, as variáveis e os parâmetros relevantes nas situações a serem modeladas. Acredita-se que parte desta dificuldade se deve às deficiências de conteúdo do conhecimento, mais especificamente, à dificuldade em se determinar qual é o sistema físico de interesse, incluindo não só os objetos que o constituem como também os agentes externos que com ele interagem. Além disso, outro aspecto que parece estar servindo de obstáculo ao domínio conceitual destes conceitos é o que poderíamos resumir pela expressão: perda da realidade objetiva. Em outros termos isso quer dizer que não há uma clara diferenciação entre os objetos reais, ou supostos como tais, que compõem o sistema a ser estudado e as grandezas físicas que passam a descrever suas propriedades e/ou caracterizam seus estados. Esta dificuldade tende a se acentuar na medida em que a porção de realidade a ser representada se constitui por entidades cada vez menos acessíveis à percepção.

No que diz respeito à relação entre os aspectos conceituais que fazem parte da construção de modelos e aqueles envolvidos na análise da razoabilidade de seus resultados, a combinação de atividades experimentais, com o uso de simulações computacionais permitem a confrontação das previsões de modelos teóricos com os dados empíricos. Atividades que integrem experimentação e modelagem parecem se constituir em ferramentas potencialmente

facilitadoras à compreensão de conceitos como domínio de validade, grau de precisão, expansão e generalização de modelos científicos.

O Quadro 7 sintetiza as dificuldades apresentadas pelos alunos no enfrentamento das situações que lhes foram propostas, na forma de tarefas.

Quadro 8 - Dificuldades apresentadas pelos alunos ao longo do curso.

Dificuldade no enfrentamento das situações para:
...propor questões que possam ser respondidas com o uso ou a construção de modelos científicos.
...compreender que as idealizações dependem das diferentes molduras teóricas, a partir das quais as situações podem ser problematizadas.
...diferenciar entre idealizações e aproximações assumidas pelos modelos científicos.
...identificar, diferenciar e selecionar os referentes, as variáveis e os parâmetros relevantes nas situações a serem modeladas.
...determinar o que venha a ser o sistema físico de interesse na situação a ser modelada, incluindo não só os objetos que o constituem como também os agentes externos que interagem com o sistema.
...diferenciar entre domínio de validade e grau de precisão de modelos científicos.
...avaliar a razoabilidade dos resultados obtidos pelos modelos científicos, sem deixar de levar em conta as considerações teóricas sobre o sistema físico em questão.

Do ponto de vista da TCC, esses resultados são importantes pois as concepções e dificuldades dos professores ao lidar com situações de modelagem científica em Física podem ser entendidas como precursores ou vieses cognitivos para a aquisição de novos conhecimentos (concepções e competências) em Física; ou estar atuando como obstáculos epistemológicos à construção de significados cientificamente aceitos. Por isso, elas precisam ser identificadas, explicitadas e trabalhadas em diferentes situações de ensino.

5.1.2. Estudo II³¹

Como foi dito anteriormente, o objetivo do Estudo II foi conceber e validar um instrumento para investigar em que medida as concepções de professores sobre a Ciência em geral se correlacionam com as suas concepções de modelagem científica no contexto da Física. Para tanto, procedeu-se as seguintes análises de natureza estatística, partindo da premissa de que as concepções de professores sobre a ‘natureza dos modelos’ e o ‘processo de modelagem científica’ devem estar correlacionadas com as suas concepções acerca da ‘natureza da Ciência’ e da ‘produção do conhecimento científico’ em geral, caso seja possível transpor didaticamente os conhecimentos associados às primeiras para as segundas.

³¹ Os resultados deste estudo foram publicados na forma de artigo (BRANDÃO et al., 2011).

Análise da estrutura fatorial do questionário: afirmações sobre Ciência

Com o objetivo de investigar se as respostas nas primeiras 27 afirmativas (afirmativas de 1 a 27) poderiam ser condensadas em uma única medida ou em diversas medidas, procedeu-se a uma ‘análise fatorial’ (MULAİK, 1972) baseada nas respostas dos 218 respondentes ao questionário.

Inicialmente submeteu-se a matriz de correlações a ser ‘fatorada’ aos testes de adequação que o pacote estatístico *SPSS – Versão 16.0*³² oferece para a análise fatorial. A ‘medida de adequação KMO’ resultou em 0,89. Esse valor excede em muito o valor mínimo de 0,5 preconizado na literatura especializada. O ‘teste de esfericidade de Bartlett’ (que testa a hipótese de que a matriz de correlações obtida tenha vindo de uma população com correlação nula entre as 27 variáveis) permitiu rejeitar a hipótese nula em nível de significância inferior a 0,00001.

Passou-se então à análise fatorial, utilizando-se o ‘método das componentes principais’ para gerar os fatores primários. Os fatores primários foram rotados através do ‘método Varimax’. O critério adotado para a retenção desses dois fatores foi o ‘critério dos autovalores’, também denominado ‘critério da raiz latente’, com autovalores suficientes (cerca de 1,9 ou maior) para que o coeficiente de fidedignidade do fator resultasse superior a 0,50. Desta forma resultaram em todas as afirmações (exceto uma, a variável correspondente às respostas à afirmativa 02, que foi excluída) ‘cargas fatoriais’³³ maiores do que 0,30 em no mínimo um dos dois fatores.

O primeiro fator, denominado **Ciência 1**, agrupou as seguintes 16 afirmativas: AF01, AF03, AF04, AF06, AF07, AF10, AF11, AF12, AF14, AF15, AF17, AF19, AF20, AF23, AF25 e AF27.

O segundo fator, denominado **Ciência 2**, agrupou as seguintes 10 afirmativas: AF05, AF08, AF09, AF13, AF16, AF18, AF21, AF22, AF24, AF26.

³² Todas as análises estatísticas apresentadas no artigo foram realizadas com o *Statistical Package for Social Scientists (SPSS)*.

³³ A carga fatorial de uma afirmativa em um fator é o coeficiente de correlação do escore na afirmativa com o escore no fator.

Decidiu-se então por definir os dois fatores através desses dois grupos de afirmativas, sendo cada um dos fatores o escore total médio no respectivo grupo de afirmativas. Essa análise inicial, utilizada para a definição dos dois grupos de afirmativas, foi complementada por uma nova análise fatorial pelo ‘método dos múltiplos grupos de Thurstone’ (WHERRY, 1984). O Quadro 8 apresenta a carga fatorial de cada afirmativa em cada um dos dois fatores, sintetizando os resultados dessa análise complementar.

Quadro 9 - Distribuição das afirmativas através dos dois fatores (Ciência 1 e Ciência 2) e as respectivas cargas fatoriais.

	Ciência 1		Ciência 2	
	Ciência 1	Ciência 2	Ciência 1	Ciência 2
AF01	0,68	0,38	AF05	0,34
AF03	0,53	0,28	AF08	-0,07
AF04	0,65	0,31	AF09	0,36
AF06	0,67	0,38	AF13	0,13
AF07	0,77	0,41	AF16	0,03
AF10	0,77	0,42	AF18	-0,05
AF11	0,58	0,15	AF21	0,50
AF12	0,68	0,36	AF22	0,51
AF14	0,61	0,26	AF24	0,45
AF15	0,60	0,25	AF26	0,13
AF17	0,56	0,09		
AF19	0,65	0,25		
AF20	0,44	0,21		
AF23	0,64	0,33		
AF25	0,66	0,28		
AF27	0,68	0,38		

Por construção, observa-se no Quadro 8 que a carga fatorial de cada uma das afirmativas é maior no fator ao qual a afirmativa pertence (carga fatorial em negrito) do que no outro fator³⁴. Entretanto também se nota que algumas afirmativas possuem cargas fatoriais importantes em ambos os fatores; o significado de tal resultado é que afirmativas que preenchem esta condição poderiam ser tomadas como medidas de mais de um fator e que de fato os dois fatores estão relacionados.

O Quadro 9 apresenta a matriz de correlações entre os dois fatores. Na diagonal da matriz, em negrito, encontra-se uma estimativa do ‘coeficiente de fidedignidade’ do respectivo fator. A estimativa utilizada é o ‘coeficiente alfa’ (CRONBACH, 1951).

³⁴ Cargas fatoriais superiores a 0,14 são estatisticamente significativas em nível inferior a 0,05.

Quadro 10 - Coeficientes de correlação entre os dois fatores e coeficiente de fidedignidade de cada fator.

	Ciência 1	Ciência 2
Ciência 1	0,90	
Ciência 2	0,47	0,65

Observa-se no Quadro 9 que os fatores não são independentes (ortogonais) e que o coeficiente de correlação é menor do que a média geométrica dos coeficientes de fidedignidade³⁵, evidenciando dessa forma que um fator fornece informação parcialmente independente do outro fator.

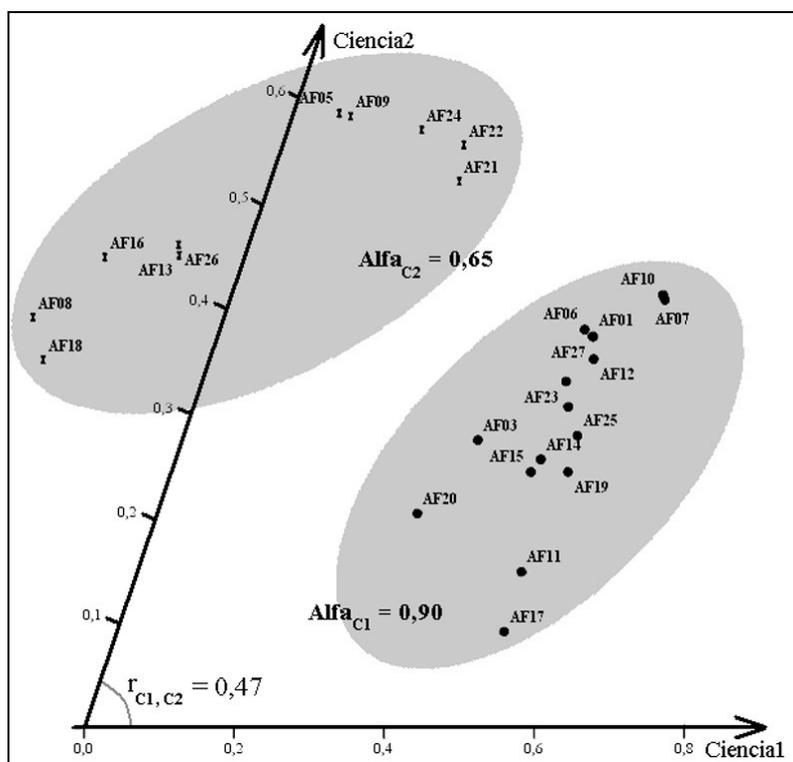


Figura 5 - Representação das cargas fatoriais, coeficientes de fidedignidade e coeficiente de correlação para os dois grupos de afirmativas sobre Ciência.

A Figura 5 representa em um espaço bidimensional as afirmativas sobre Ciência com as suas respectivas cargas fatoriais, os coeficientes de fidedignidade de cada grupo de afirmativas e o coeficiente de correlação entre os dois fatores.

³⁵ O ‘verdadeiro’ coeficiente de correlação entre duas variáveis (coeficiente de correlação entre as duas variáveis caso não houvesse erros de medida em ambas) é o coeficiente de correlação observado entre elas dividido pela média geométrica dos coeficientes de fidedignidade (LORD; NOVICK, 1968). Assim sendo, para caracterizar que duas variáveis medem construtos diferentes, deve a média geométrica dos coeficientes de fidedignidade ser maior do que o coeficiente de correlação observado.

Caso se deseje construir um único escore para cada respondente nas 26 afirmativas, o coeficiente alfa de Cronbach subestimar³⁶ o coeficiente de fidedignidade desse escore. Um estimador mais adequado do coeficiente de fidedignidade nesse caso, segundo Nunnally (1978), é dado por:

$$f_T = 1 - \frac{\sum_i^k (1 - f_i) \cdot S_i^2}{S_T^2}, \quad (1)$$

onde f_T é o coeficiente de fidedignidade do escore total, f_i é o coeficiente de fidedignidade da i -ésima componente (aqui as componentes são apenas os dois fatores, quantificados nos escores totais dos respectivos grupos de afirmativas), S_i^2 é a variância da i -ésima componente e S_T^2 é a variância do escore total.

Utilizando-se a expressão (1) encontra-se para o coeficiente de fidedignidade do escore total nas 26 afirmativas 0,90.

Significado de cada fator identificado nas afirmativas sobre Ciência

Para atribuir significado a cada fator há que se analisar o conteúdo expresso nas afirmativas que caracterizam o fator, já que a classificação inicial (do Quadro 3) não é compatível com a distribuição das afirmativas conforme o Quadro 8. Essa ‘análise de conteúdo’ das afirmativas levou a denominar cada um dos fatores como segue.

Ciência 1 – A ciência não se pauta pelas concepções empiristas-indutivistas.

Ciência 2 – O conhecimento científico é construído, falível e corrigível; a *empíria* é insuficiente como critério de validação e é dependente de pressupostos teóricos.

Escore total médio (média aritmética dos escores de um respondente nas afirmativas relativas ao fator) superior a 3 indica que o respondente concorda com o conteúdo explícito

³⁶ - O ‘coeficiente alfa’ é um ‘bom’ estimador do ‘coeficiente de fidedignidade’ de um compósito (aqui o escore total nas 26 afirmativas) quando o compósito é homogêneo, unidimensional (CRONBACH, 1951). Caso o compósito não seja homogêneo (as 26 afirmativas contêm 2 fatores), o ‘coeficiente alfa’ subestima o ‘coeficiente de fidedignidade’.

no fator; quanto mais próximo de 5 (escore máximo possível), maior é a concordância e portanto indica uma concepção de Ciência em conflito com a epistemologia empirista-indutivista. Escore total médio inferior a 3 indica discordância com o conteúdo explícito no fator; quanto mais próximo de 1 (escore mínimo possível), maior é a discordância.

Análise da estrutura fatorial do questionário: afirmativas sobre modelos e modelagem científica no contexto da Física

Com o objetivo de investigar se as respostas nas últimas 21 afirmativas (afirmativas 28 a 48) poderiam ser condensadas em uma única medida ou em diversas medidas, procedeu-se a uma análise fatorial baseada nas respostas dos 218 respondentes ao questionário.

Inicialmente submeteu-se a matriz de correlações a ser fatorada aos testes de adequação que o pacote estatístico *SPSS* oferece para a análise fatorial. A medida de adequação KMO resultou em 0,83. O teste de esfericidade de Bartlett permitiu rejeitar a hipótese nula em nível de significância inferior a 0,00001.

Passou-se então à análise fatorial utilizando-se o método das componentes principais para gerar os fatores primários, que foram rotados através do método Varimax. De novo, o critério adotado para a retenção desses dois fatores foi o critério da raiz latente, com autovalores suficientes (cerca de 1,9 ou maior) para que o coeficiente de fidedignidade do fator resultasse superior a 0,50. Desta forma resultam em todas as afirmações (exceto uma, a variável correspondente às respostas à afirmativa 41, que foi excluída) cargas fatoriais maiores do que 0,30 em no mínimo um dos dois fatores.

O primeiro fator, denominado **Modelo 1**, agrupou as seguintes 12 afirmativas: AF29, AF30, AF32, AF34, AF35, AF37, AF39, AF42, AF43, AF45, AF46 e AF48.

O segundo fator, denominado **Modelo 2**, agrupou as seguintes 08 afirmativas: AF28, AF31, AF33, AF36, AF38, AF40, AF44 e AF47.

Decidiu-se então por definir os dois fatores através desses dois grupos de afirmativas, sendo cada um dos fatores o escore total médio no respectivo grupo de afirmativas. Essa análise inicial também foi complementada por uma nova análise fatorial

pelo método dos múltiplos grupos de Thurstone. O Quadro 10 apresenta a carga fatorial de cada afirmativa em cada um dos dois fatores, sintetizando os resultados dessa análise complementar.

Quadro 11 - Distribuição das afirmativas através dos dois fatores (Modelo 1 e Modelo 2) e as respectivas cargas fatoriais.

		Modelo 1	Modelo 2			Modelo 1	Modelo 2
Modelo 1	AF29	0,52	0,20	Modelo 2	AF28	0,21	0,55
	AF30	0,71	0,37		AF31	0,33	0,52
	AF32	0,75	0,40		AF33	0,16	0,45
	AF34	0,37	0,12		AF36	0,19	0,49
	AF35	0,61	0,35		AF38	0,56	0,60
	AF37	0,55	0,28		AF40	0,05	0,36
	AF39	0,51	0,26		AF44	0,14	0,51
	AF42	0,73	0,37		AF47	0,34	0,66
	AF43	0,57	0,19				
	AF45	0,69	0,33				
	AF46	0,66	0,25				
	AF48	0,52	0,19				

Por construção, observa-se no Quadro 10 que a carga fatorial de cada uma das afirmativas é maior no fator ao qual a afirmativa pertence (carga fatorial em negrito) do que no outro fator. Entretanto também se nota que algumas afirmativas possuem cargas fatoriais importantes em ambos os fatores. Como dito anteriormente, tais afirmativas poderiam ser tomadas como medidas de mais de um fator.

Quadro 12 - Coeficientes de correlação entre os dois fatores e coeficientes de fidedignidade de cada fator.

	Modelo 1	Modelo 2
Modelo 1	0,85	
Modelo 2	0,51	0,61

O Quadro 11 apresenta a matriz de correlações entre os dois fatores. Na diagonal da matriz, em negrito, encontra-se uma estimativa do coeficiente de fidedignidade do respectivo fator. A estimativa utilizada é o coeficiente alfa de Cronbach.

Observa-se no Quadro 11 que os fatores não são independentes (ortogonais) e que o coeficiente de correlação é menor do que a média geométrica dos coeficientes de fidedignidade, evidenciando que um fator fornece informação parcialmente independente do outro fator.

A Figura 6 representa em um espaço bidimensional as afirmativas sobre modelos e modelagem científica no contexto da Física com as suas respectivas cargas fatoriais, os coeficientes de fidedignidade de cada grupo de afirmativas e o coeficiente de correlação entre os dois fatores.

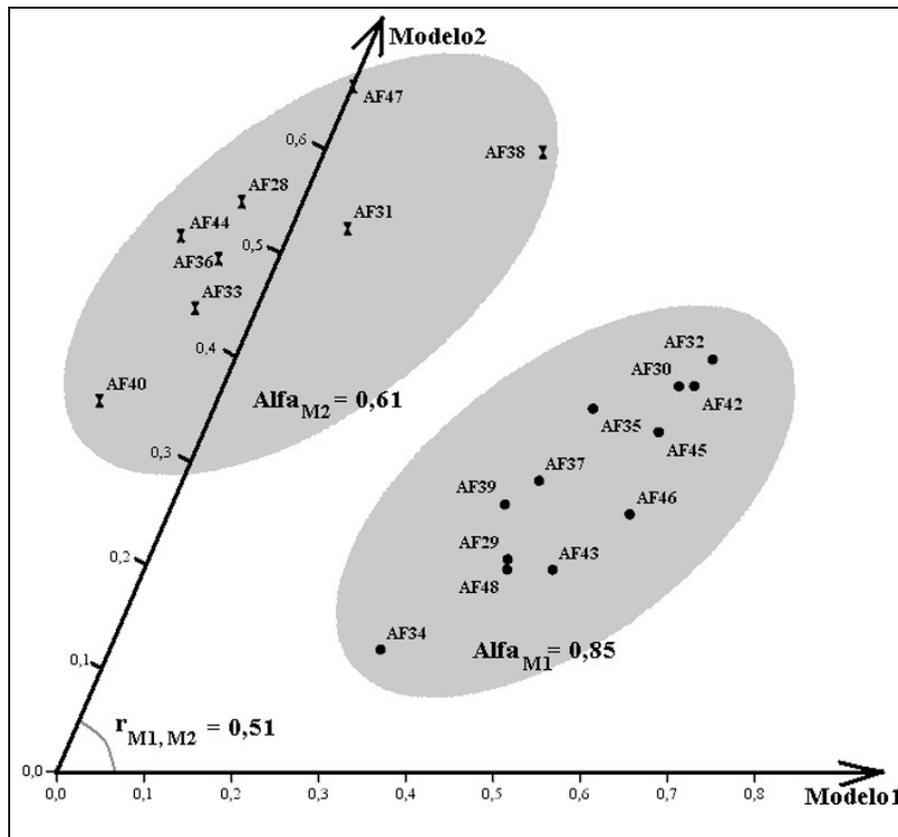


Figura 6 - Representação das cargas fatoriais, coeficientes de fidedignidade e coeficiente de correlação para os dois grupos de afirmativas sobre Modelo.

O coeficiente de fidedignidade do escore total das respostas às 20 afirmativas sobre modelos e modelagem científica resulta pela expressão (1) em 0,85.

Significado de cada fator identificado nas afirmativas sobre modelos e modelagem científica no contexto da Física

Para atribuir significado a cada fator há que se analisar os conteúdos expressos nas afirmativas que caracterizam o fator, já que a classificação inicial (do Quadro 3) não é compatível com a distribuição das afirmativas conforme o Quadro 10. Essa análise de conteúdo das afirmativas levou a denominar cada um dos fatores como segue:

Modelo 1 – Os modelos científicos não representam a realidade de forma literal e completa.

Modelo 2 – Os modelos científicos são construções humanas simplificadas de sistemas físicos; explicando-os de modo parcial e aproximado, simulando-os com mecanismos hipotéticos e predizendo certos tipos de comportamentos.

Escore total médio (média aritmética dos escores de um respondente nas afirmativas relativas ao fator) superior a 3 indica que o respondente concorda com o conteúdo explícito no fator; quanto mais próximo de 5 (escore máximo possível), maior é a concordância. Escore total médio inferior a 3 indica discordância com o conteúdo explícito no fator; quanto mais próximo de 1 (escore mínimo possível), maior é a discordância.

Estudo das relações entre os escores nos quatro fatores

A fim de investigar as relações entre os escores nos quatro fatores descritos nas seções anteriores, calculou-se a matriz de correlações entre os respectivos escores, apresentada no Quadro 12.

Quadro 13 - Matriz de correlações entre os quatro fatores, média e desvio padrão dos escores em cada fator.

	Ciência 1	Ciência 2	Modelo 1	Modelo 2
Ciência 1	0,90	<i>0,61</i>	<i>0,93</i>	<i>0,66</i>
Ciência 2	0,47	0,65	<i>0,51</i>	<i>0,95</i>
Modelo 1	0,81	0,38	0,85	<i>0,71</i>
Modelo 2	0,49	0,60	0,51	0,61
Média	3,23	3,81	3,28	3,75
Desvio padrão	0,79	0,51	0,66	0,50

Na diagonal da matriz, em negrito, encontra-se a estimativa do coeficiente de fidedignidade, através do coeficiente alfa de Cronbach, para o escore total em cada fator. Fora da diagonal, na parte inferior da tabela, estão os coeficientes de correlação efetivamente obtidos entre os quatro fatores; na parte superior do quadro, em itálico, estão os coeficientes de correlação corrigidos para atenuação (estimativa do ‘verdadeiro’ coeficiente de correlação de cada par de variáveis, isto é, o coeficiente de correlação caso não houvesse erros de medida em ambas as variáveis). As duas linhas inferiores do quadro apresentam a média e o desvio padrão do escore total médio em cada fator.

Observa-se no Quadro 12 que as concepções sobre Ciência e sobre modelos e modelagem científica no contexto da Física estão fortemente relacionadas, isto é, escores fatoriais em **Ciência 1** altos (ou baixos) estão associados a escores altos (ou baixos) em **Modelo 1**. Idem para **Ciência 2** e **Modelo 2**.

Esse resultado corrobora o estudo de Gilbert (1991) no qual ele investiga a relação entre as concepções sobre Ciência e sobre modelos de 687 estudantes universitários de Biologia. O autor concluiu que é possível transpor didaticamente noções corretamente associadas aos modelos científicos, por parte desses estudantes, para o conhecimento científico em geral.

Adicionalmente, o escore total nas 26 afirmativas sobre Ciência (cujo coeficiente de fidedignidade é 0,90) apresenta um coeficiente de correlação de 0,80 com o escore total nas 20 afirmativas sobre modelos e modelagem científica (cujo coeficiente de fidedignidade é 0,85).

A estimativa do ‘verdadeiro’ coeficiente de correlação entre essas duas variáveis resulta em 0,91, mostrando dessa forma uma forte associação entre as concepções relativas ao conhecimento científico em geral e relativas aos modelos e à modelagem científica em Física.

O escore total no questionário como um todo, isto é, calculado sobre as respostas nas 46 afirmativas, resulta ter pela expressão (1) um coeficiente de fidedignidade de 0,93.

Para representar os coeficientes de correlação fora da diagonal, na parte inferior do Quadro 12, a Figura 7 apresenta as cargas fatoriais resultantes da fatoraçoão dos quatro escores, tendo-se dois fatores e utilizando o método de rotação Varimax.

Como foi dito no início dessa seção, o objetivo do presente estudo não foi comparar os seus resultados acerca das concepções de professores com os de outras pesquisas. Contudo, é possível identificar um aspecto interessante acerca das concepções dos sujeitos desse estudo, evidenciado pelo Quadro 13, que resultou de uma ‘análise de agrupamentos’.

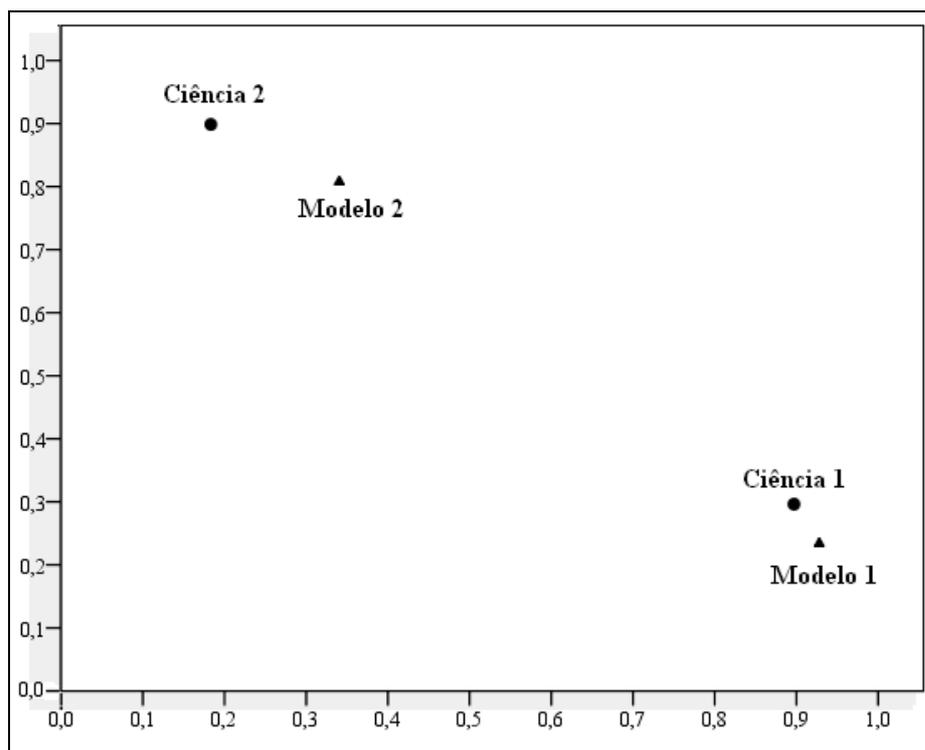


Figura 7 - Representação dos coeficientes de correlação entre os quatro escores.

Quadro 14 - Perfis dos agrupamentos obtidos.

Fator	Agrupamento 1 (N=61)		Agrupamento 2 (N=157)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Ciência 1	4,13	0,53	2,88	0,57
Ciência 2	4,26	0,42	3,61	0,41
Modelo 1	4,04	0,41	2,98	0,47
Modelo 2	4,30	0,35	3,53	0,36

Como se observa do Quadro 13, aproximadamente 72% (N=157) da amostra de sujeitos analisados, correspondentes ao agrupamento 2, discordam, ainda que não fortemente, do significado atribuído aos fatores **Ciência 1** e **Modelo 1**; ao mesmo tempo concordam, ainda que não fortemente, com o conteúdo expresso nos fatores **Ciência 2** e **Modelo 2**.

Esse resultado parece evidenciar que tais sujeitos apresentam concepções incoerentes, na medida em que: (i) manifestam concordância com aspectos que se alinham a posturas mais construtivistas acerca da Ciência e da modelagem científica; e (ii) discordam de um posicionamento filosófico contrário à concepção empirista-indutivista da Ciência e ao fato de que os modelos científicos não representam a realidade tal como ela se apresenta. Tal resultado corrobora os encontrados por Justi e Gilbert (2003) sobre concepções de professores acerca de modelos científicos e por Koulaidis e Ogborn (1989) acerca da natureza da Ciência.

5.2. Etapa II

5.2.1. Estudo III³⁷

A Figura 8 apresenta a estrutura conceitual de referência (ECR) associada à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física, proposta pelo autor. Essa ECR em conjunto com as concepções e os esquemas de pensamento que organizam as ações do sujeito em situações de modelagem compõem o que se entende por campo conceitual da modelagem científica em Física, com fins didáticos.

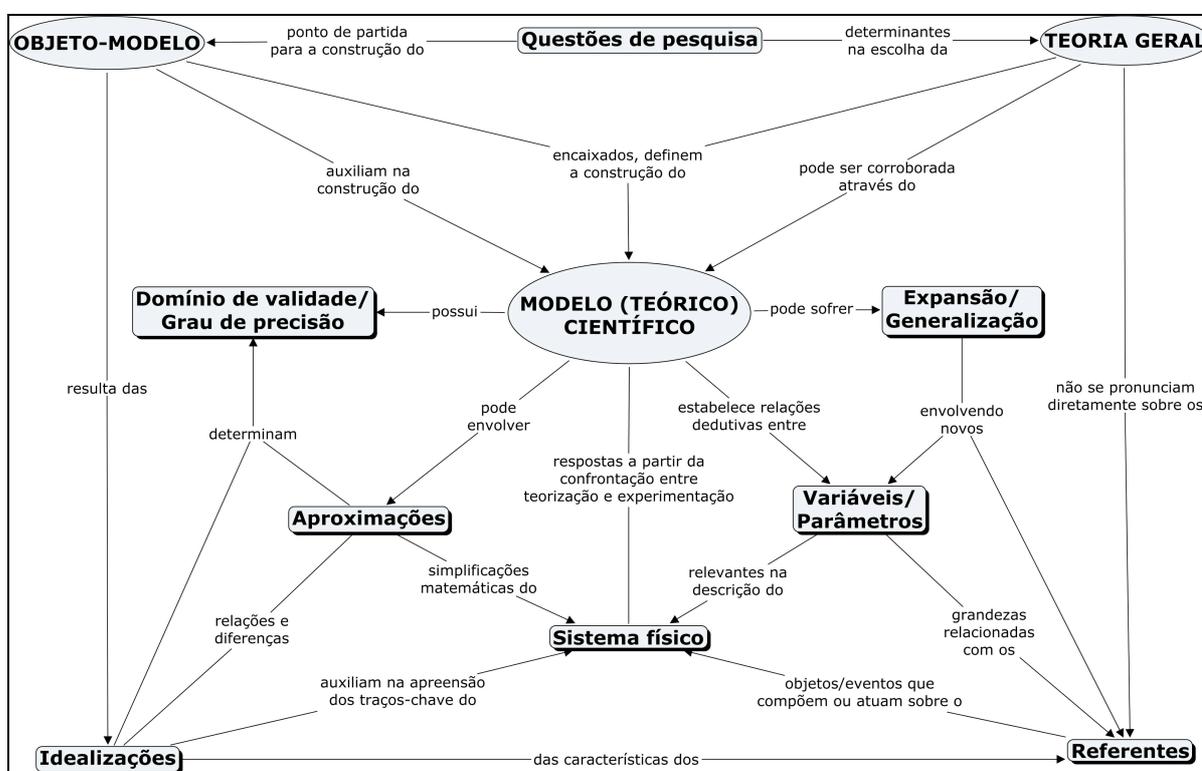


Figura 8 - Estrutura conceitual de referência associada à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física.

À luz da Teoria dos Campos Conceituais, a modelagem científica em Física pode, então, ser vista como um campo conceitual constituído:

(i) pelo conjunto, S , de situações que dão sentido aos conceitos associados à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física; ou seja, o conjunto de situações que podem ser analisadas e solucionadas por meio da construção e/ou exploração de uma versão,

³⁷ Este estudo foi publicado na forma de artigo (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2011).

com maior ou menor valor didático, de um modelo científico, capaz de aproximar teoria e realidade, e de dar sentido às dificuldades observadas no processo de conceitualização do real, no contexto da Física;

(ii) pelo conjunto, *I*, de invariantes operatórios de caráter geral, associados à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física, e de caráter específico, associados aos conceitos da ECR, que podem ser reconhecidos e usados pelo sujeito para analisar as situações do primeiro conjunto, denominadas situações de modelagem em Física; e

(iii) pelo conjunto, *R*, de representações simbólicas que podem ser usadas para indicar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos de modelagem para lidar com elas; esse conjunto é fortemente dependente do campo conceitual específico da Física em que o sujeito esteja modelando.

Nessa perspectiva, não importa se os modelos didático-científicos são avançados ou introdutórios ou se as situações do mundo real a que se referem são demasiadamente simples ou complexas. O que muda de um caso para o outro são apenas os objetivos a serem alcançados. Seja no contexto científico ou educacional, a modelagem científica pode ser vista como uma estratégia teórico-metodológica capaz de apoiar a ação do sujeito nas situações em que ele necessita, de alguma forma, aproximar teoria e realidade, ou seja, conceitualizar o real. No contexto educacional, tal estratégia pode ser denominada de ‘modelagem didático-científica reflexiva’.

O Quadro 14 apresenta quatro exemplos de invariantes operatórios de caráter geral, associados à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física, e um de caráter específico para cada um dos nove conceitos envolvidos pelos retângulos sombreados que compõe a ECR da Figura 8.

Os invariantes operatórios do Quadro 14 são exemplos de conhecimentos acerca dos modelos e da modelagem científica em Física que podem e devem ser mobilizados pelo sujeito em situação de modelagem, com o intuito de reconhecer os elementos pertinentes à situação a ser representada. Eles constituem a base conceitual, implícita ou explícita, que permite selecionar as informações relevantes, inferir o objetivo a ser alcançado e os procedimentos mais adequados durante o processo de modelagem.

Quadro 15 - Exemplos de invariantes operatórios gerais e específicos.

Conceito	Invariante operatório de referência
Modelo e modelagem científica	Formular questões sobre uma situação física a serem respondidas pela construção e/ou exploração de um modelo científico.
	Decidir que tipo de representação construir para responder às questões formuladas.
	Representar a situação física de modo esquemático e à luz de algum campo conceitual específico da Física.
	Analisar a razoabilidade dos resultados obtidos com a versão do modelo científico construído e/ou explorado por meio da busca de suportes empíricos e/ou racionais.
Referente	Delimitar objetos e eventos reais, ou supostos como tais, que compõem o sistema físico e sua vizinhança e que serão alvo de representação.
Idealização	Dado um sistema físico, decidir quais dos seus traços-chave apreender.
Aproximação	Dado um sistema físico previamente idealizado, decidir quais simplificações matemáticas serão assumidas, tais como: desprezar efeitos que são pequenos, considerar relações lineares, desprezar ruídos, etc.
Variável	Identificar quais variáveis são necessárias para representar o sistema físico e quais delas podem assumir valores numéricos contínuos e quais discretos.
Parâmetro	Identificar quais os parâmetros fixos no tempo e quais os variáveis.
Domínio de validade	Identificar um fenômeno como sendo o caso limite de outro ³⁸ .
Grau de precisão	Dada uma idealização, avaliar qualitativa e/ou quantitativamente o erro por ela introduzido no modelo.
Expansão	Incluir novos referentes, variáveis, parâmetros, relações e conceitos físicos a fim de obter resultados mais precisos e/ou melhor interpretáveis com o modelo.
Generalização	Dado um modelo conceitual e/ou matemático, verificar se ele pode ser útil para representar outros sistemas físicos distintos daquele para o qual foi concebido.

Com base no que foi dito nessa subseção, o campo conceitual da modelagem científica em Física, com fins didáticos, também pode ser entendido como o conjunto de atividades no Ensino de Física que visam à criação e/ou à exploração de versões didáticas de modelos científicos construídos pelos físicos. Tais atividades podem ser sintetizadas em classes de situações capazes de dar sentido aos conceitos da ECR que se quer introduzir, tais como: atividades de modelagem computacional, enfatizando o papel mediador dos modelos entre teoria e simulação; atividades de modelagem em laboratório de ensino, enfatizando o papel mediador dos modelos entre teoria e experimento; e atividades de modelagem computacional-experimental, enfatizando o papel mediador dos modelos entre simulação e experimento acerca de sistemas, processos e fenômenos físicos. Com isso não se quer dizer que a teoria esteja ausente, por exemplo, na última classe de situações, ou que experimentos de pensamento não envolvam modelagem.

Embora o campo conceitual da modelagem científica em Física, com fins didáticos, possa ser pensado em termos de uma variedade de classes de situações, os dois estudos

³⁸ A exemplo do que fez Galileu ao identificar o movimento de queda livre de uma bola como sendo o caso limite do movimento de descida da bola sobre um plano inclinado, sem atrito e sem resistência do ar, formando um ângulo de 90° com a horizontal (LOMBARDI, 1997).

empíricos seguintes a esse investigaram concepções, dificuldades, avanços e invariantes operatórios mobilizados por professores de Física do Ensino Médio, fundamentalmente, em atividades de modelagem computacional de sistemas, processos e fenômenos físicos, com fins didáticos. E o fizeram levando em conta a análise feita por Weil-Barais e Vergnaud (1990) sobre concepções e esquemas de pensamento de estudantes em Física e Matemática.

Nessa perspectiva teórica, as concepções que o sujeito dispõe para lidar com situações previamente dominadas podem ser compatíveis com a construção de novos conceitos e, por isso, ser consideradas como precursores cognitivos, ou podem ser incompatíveis, a ponto de constituírem-se em obstáculo epistemológico à introdução de certo conceito novo. Mas podem ainda ser vistas como vieses cognitivos para a construção de novos conceitos, em vez de serem consideradas errôneas (WEIL-BARAIS; VERGNAUD, 1990).

Concepções que conduzem o sujeito a dar respostas sistemáticas que diferem das esperadas a certas classes de situações e problemas podem ser vistas como vieses cognitivos, que se manifestam por meio de certas regularidades e que podem ser observadas a partir das respostas elaboradas às situações propostas.

Weil-Barais e Vergnaud (1990) apontam que há concepções em Física que atuam como vieses cognitivos na compreensão de significados atribuídos a conceitos físicos como, por exemplo, o de calor e de força. No dia a dia, esses conceitos são vistos em geral como propriedades dos corpos. Já em Física, calor e força são concebidos como entidades físicas que representam interações entre dois ou mais objetos de um ou mais sistemas físicos. O viés cognitivo nesse caso está associado a um processo de pensamento que consiste na preservação do significado atribuído a um conceito físico em diferentes contextos, e que se percebe como um invariante operatório inadequado para lidar com certas classes de situações e problemas (ibid., p. 72).

Segundo esses autores, alguns pesquisadores tratam essa questão como um problema de definição ou relacionado ao vocabulário ou mesmo como sendo uma dificuldade de aquisição de sistemas gráficos e matemáticos formalizados, o que acaba por reduzir o processo de formação de conceitos a uma espécie de jogo de símbolos.

Outro tipo de viés cognitivo está relacionado aos modos de interpretação de experimentos em Física. Nesse caso, Weil-Barais e Vergnaud (1990) chamam a atenção para a presença de certos aspectos comuns às explicações dos estudantes, tais como: a ênfase nas características perceptivas e relacionadas ao evento da situação: ações, movimentos, mudanças de aspectos (deformações, modificações na cor, etc.); a descrição dos vários elementos da situação em termos de suas propriedades e funções; o modo assimétrico de conceber as interações entre os elementos de uma situação; e o modo preferencialmente sequencial de compreender o evento no tempo e no espaço. Tais modos de interpretação, que são fortemente relacionados ao evento da situação, ao invés de serem do tipo conceitual como é desejável em Física, conduzem frequentemente os estudantes a predições errôneas.

Em Física, ainda há outros tipos de concepções que podem atuar como vieses cognitivos na compreensão da natureza do conhecimento físico. De modo geral, a Física faz uso de modelos científicos para representar a realidade. Esses, por sua vez, fazem uso de representações simbólicas e de elementos conceituais, tais como os conceitos de sistema, estado, interação, transferência, conservação, etc. (WEIL-BARAIS; VERGNAUD, 1990). Portanto, a compreensão do conhecimento em Física não depende só da habilidade que o sujeito possui para manipular representações simbólicas, mas também da capacidade de identificar e relacionar aspectos conceituais intrínsecos à sua natureza e construção.

A física de Galileu e de Newton, como exemplificam Weil-Barais e Vergnaud (1990) descreve um mundo idealizado, sobre o qual os indivíduos tem acesso de forma indireta. Nesse sentido, os modelos teóricos utilizados em Física fazem uso de entidades que muitas vezes não podem ser acessadas pelos sentidos, a ponto de existir entidades físicas que podem ser calculadas mas não medidas e que, por isso, podem ser consideradas como ‘entidades ocultas’.

Os dois estudos seguintes avançaram na investigação dos aspectos conceituais, de cunho epistemológico, subjacentes às concepções e aos esquemas de pensamento utilizados por professores de Física da Educação Básica, que podem estar atuando ou como precursores ou como vieses cognitivos, ou ainda como obstáculos epistemológicos à compreensão do processo de modelagem científica em Física e, por conseguinte, ao processo de conceitualização do real, no que diz respeito à natureza, à construção e à validação dos conhecimentos por eles aprendidos.

5.3. Etapa III

5.3.1. Estudo IV³⁹

Nesta seção optou-se por apresentar e discutir os resultados obtidos no Estudo IV de modo a responder às questões de pesquisa na ordem em que foram listadas no Capítulo 4. Logo, os dados não são apresentados na ordem cronológica em que foram coletados, mas em termos: (i) das concepções evidenciadas por Raquel sobre a noção de modelo científico em Física, no início e no final da disciplina TICs-II; (ii) das dificuldades enfrentadas e dos avanços obtidos no processo de conceitualização das situações físicas; e (iii) dos invariantes operatórios subjacentes aos esquemas de pensamento utilizados por Raquel nas atividades de modelagem que lhe foram propostas ao longo do semestre letivo.

5.3.1.1. Quanto às concepções

Em entrevista realizada no início da disciplina, Raquel deixou claro que a sua concepção de modelo científico em Física estava associada à ideia de ‘simulação’ de uma situação, pois a fazia lembrar de outra disciplina na qual trabalhou com o *software Modellus* em que, segundo ela: “tu colocas lá as equações que tu tens e ele te projeta uma situação. Eu sempre me lembro de alguma simulação”.

Embora nem todos os modelos teóricos necessitem ser implementados computacionalmente, no contexto científico, todo modelo computacional baseia-se em um modelo teórico subjacente à sua implementação em computador. Portanto, a ideia de simulação, no caso de Raquel, pode ter atuado como um precursor cognitivo na construção da sua noção de modelo científico em TICs-II.

Adicionalmente, o fato de Raquel ter associado ao conceito de modelo, no início da disciplina, uma simulação computacional construída com auxílio do *software Modellus* reforça as conclusões de Smit e Finegold (1995) de que: (i) diferentes significados são

³⁹ Este estudo está submetido à publicação, na forma de artigo, na *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*.

atribuídos ao conceito de modelo em diferentes disciplinas; e (ii) o significado formado em uma disciplina parece interferir no significado de outra disciplina, prevalecendo aquele ao qual o aluno ficou exposto por mais tempo.

No teste de associação escrita de conceitos, aplicado no início da disciplina, ‘simulação’ foi a primeira categoria de pensamento associada por Raquel ao conceito de modelo. Outra categoria de pensamento pertinente ao conceito de modelo explicitada pela aluna, não só na entrevista inicial como também nesse teste, foi a de ‘simplificação’. Segundo ela, um modelo científico serve para “tentar entender de uma forma mais simples uma coisa que tem muitas outras variáveis que de repente estão em jogo”.

Como todo modelo científico pode ser entendido como uma representação simplificada de algo que se quer modelar, a ideia de ‘simplificação’ também pode ter atuado como um precursor cognitivo na construção da noção de modelo científico, por parte de Raquel, em TICs-II.

Na entrevista realizada ao final da disciplina, Raquel expôs a sua noção de modelo científico, ao responder à seguinte questão. **Dentro do contexto da Física, o que é um modelo para você?** “Modelo é uma representação da realidade, que a gente constrói, fazendo idealizações e aproximações, a partir dos nossos referentes reais”.

As concepções evidenciadas por Raquel sobre a noção de modelo científico em Física, no início e no final da disciplina, reforçam a suposição feita pela TCC de que a aprendizagem de novos conceitos depende dos problemas e situações previamente dominados pelo sujeito, conferindo ao processo de construção do conhecimento um caráter contextual (VERGNAUD, 2007). Em função disso, muitas das nossas concepções estão relacionadas às primeiras situações que fomos capazes de dominar ou a nossa experiência tentando modificá-las (VERGNAUD, 1996, p. 117).

5.3.1.2. Quanto às dificuldades e aos avanços na conceitualização do real

Nas duas primeiras atividades de simulação computacional, realizadas em grupo, os alunos de TICs-II deveriam: (i) reconhecer o fenômeno físico representado na simulação; (ii)

identificar a teoria física utilizada; (iii) inferir sobre as idealizações e aproximações assumidas na construção da simulação; e (iv) formular questões que pudessem ser respondidas com auxílio da simulação. Os tópicos de Física abordados foram a conjugação de imagens por lentes e espelhos esféricos (Figura 9), e movimento de projéteis (Figura 10).

Na primeira atividade, Raquel reconheceu tratar-se da simulação do fenômeno físico da “formação de imagem com lentes convergentes, divergentes e espelhos. Os fenômenos de refração e reflexão da luz”. E a teoria utilizada para discuti-los “é a da Óptica Geométrica”. À luz dessa teoria, Raquel reconheceu que “a luz é constituída por raios, cuja propagação é em linha reta, devido ao meio possuir a mesma densidade”. De fato, um feixe cônico de luz de abertura muito pequena chama-se um pincel de raios luminosos, e no limite idealizado em que a abertura tende a zero tem-se um raio de luz, uma linha reta num meio homogêneo (NUSSENZVEIG, 1998).

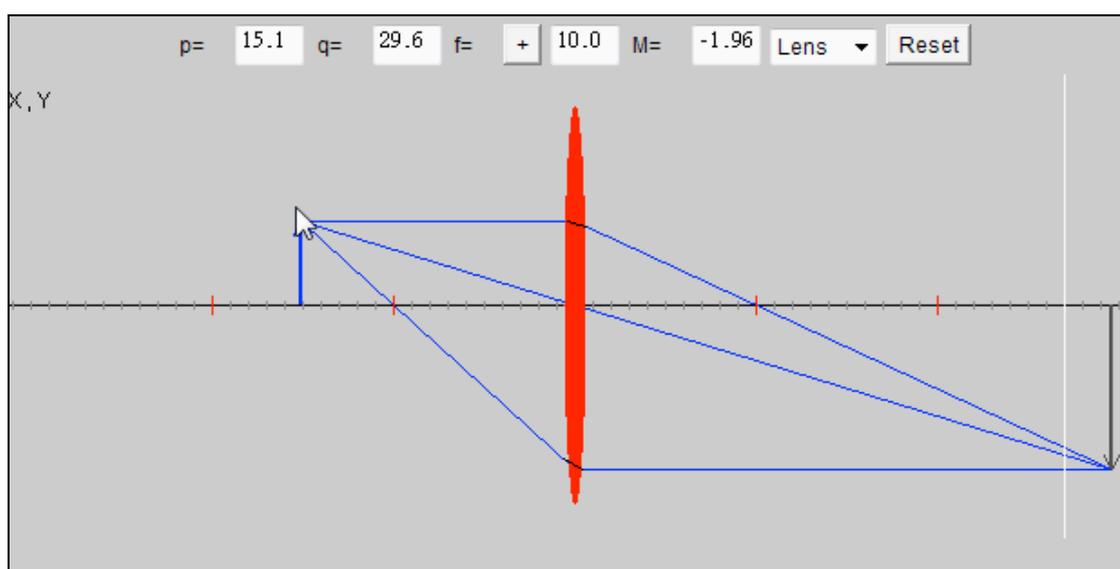


Figura 9 - Atividade de simulação computacional sobre a conjugação de imagens por espelhos e lentes (HWANG, 1996a).

Raquel também identificou as seguintes idealizações subjacentes à construção da simulação: “as lentes são delgadas. Os espelhos refletem a luz especularmente. A reflexão e a refração obedecem os raios notáveis. O meio é menos refringente do que a lente”.

Em relação às aproximações, Raquel percebeu que os raios de luz estavam sendo considerados como paraxiais, ainda que tenha tido dificuldade para se expressar claramente: “ângulos pequenos para a relação entre tamanho angular e raio de curvatura”. Na verdade,

lentes delgadas e raios de luz paraxiais definem as condições de estigmatismo de Gauss para sistemas ópticos. Essas condições tornam todas as deduções da Óptica Geométrica aproximadas, como, por exemplo, a da conhecida equação dos fabricantes de lentes.

Por ter reconhecido como uma idealização o fato da lente estar imersa em um meio menos refringente, e não como o caso escolhido para ser tratado pelo autor da simulação, Raquel demonstrou dificuldade para identificar as idealizações e as aproximações assumidas na construção dessa simulação.

Após ter explorado esse primeiro *applet*, Raquel formulou as seguintes questões-foco: “que tipo de lente é usado para correção de miopia? Por que as lojas usam espelhos convexos para o controle de segurança”?

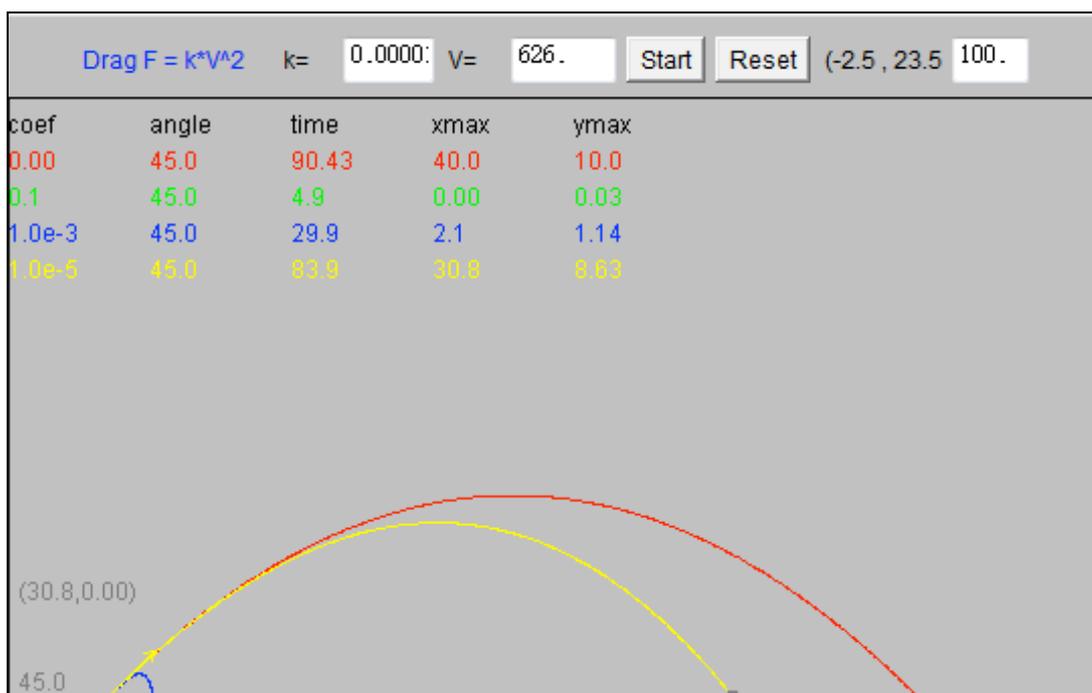


Figura 10 - Atividade de simulação computacional sobre movimento de projéteis (HWANG, 1996b).

Na segunda atividade, Raquel não teve dificuldade para reconhecer que o *applet* da Figura 10 simulava o fenômeno físico do “lançamento oblíquo com e sem resistência do ar”. Apesar disso, entendeu que a “Cinemática Clássica” foi a teoria utilizada para discuti-la.

Em relação às idealizações, Raquel inferiu os seguintes aspectos a respeito da simulação do movimento dos projéteis: “o ar é um fluido homogêneo. O campo gravitacional

é constante. Na ausência do ar, o movimento é decomposto em v_x e v_y , com MRU em x e MRUV em y . A massa é considerada uma partícula”. De fato, considerar o meio homogêneo e o campo gravitacional uniforme são idealizações relevantes nessa simulação, visto que o coeficiente de resistência do ar k e a aceleração da gravidade g são mantidos constantes. Porém, ao tratar a massa como uma partícula, e não precisamente o projétil que a possui, é possível que Raquel esteja enfrentando um obstáculo epistemológico, sintetizado pela expressão ‘perda da realidade objetiva’, que resulta na falta de clareza para discernir o objeto real ou suposto como tal (projétil), que está sendo representado na simulação, da propriedade física a ele atribuída por meio de um construto (conceito de massa⁴⁰).

A decomposição do movimento bidimensional do projétil, portanto, já idealizado, em dois movimentos unidimensionais independentes, apenas reflete o quão simplificado torna-se a sua descrição matemática, quando desprezam-se os efeitos de resistência do ar, que é uma idealização pertinente nos casos em que $k = 0$.

De modo geral, as idealizações podem ser pensadas como o primeiro estágio de teorização em direção à construção de modelos teóricos que representam sistemas, processos e fenômenos físicos. Já as aproximações são simplificações na tentativa de facilitar os cálculos sobre o sistema previamente idealizado, seja pela incapacidade das nossas habilidades 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 operações que visam simplificar o processo representacional de comportamentos, características, propriedades e estados associados aos referentes e suas interações. Entretanto, as idealizações estão mais relacionadas à concepção, delimitação e 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.

Nesse sentido, Raquel identificou corretamente a expressão para a força de resistência do ar “ $F = kv^2$ ” como a aproximação assumida pelo modelo matemático

⁴⁰ A presença desse obstáculo epistemológico já havia sido observado no Estudo I. Mas também é possível que Raquel tenha cometido apenas um desleixo, referindo-se à massa do corpo quando, de fato, estava pensando no próprio corpo. O fato é que, após ter sido alertada pela professora da disciplina sobre a importância dessa distinção no contexto da modelagem científica, a estudante não voltou a fazer mais afirmações de tal natureza.

subjacente à simulação computacional. Por último, formulou as seguintes questões-foco: “como a resistência do ar influencia o alcance máximo de um projétil? Desprezando a resistência do ar, como se relacionam a altura máxima e o alcance máximo com o ângulo de lançamento”?

Na quarta atividade de simulação computacional, os alunos tinham como metas: (i) formular questões-foco que pudessem ser respondidas com auxílio da simulação; (ii) reconhecer os referentes envolvidos e as idealizações assumidas; e (iii) explicitar as variáveis, os parâmetros e as relações matemáticas relevantes para a implementação da simulação no *software Modellus 2.5*, sem ter acesso à janela ‘Modelo’. O tópico de Física tratado foi circuito elétrico do tipo RC (Figura 11).

Em relação ao modelo computacional da Figura 11, Raquel formulou as seguintes questões-foco:

Que relação se percebe do tempo de carga e descarga do capacitor com a magnitude do resistor pelo qual ocorre a descarga e com a capacitância do capacitor que compõe o circuito? Que relação se percebe entre o valor da diferença de potencial oferecida pela fonte e a quantidade de carga armazenada no capacitor após o processo de carregamento deste?

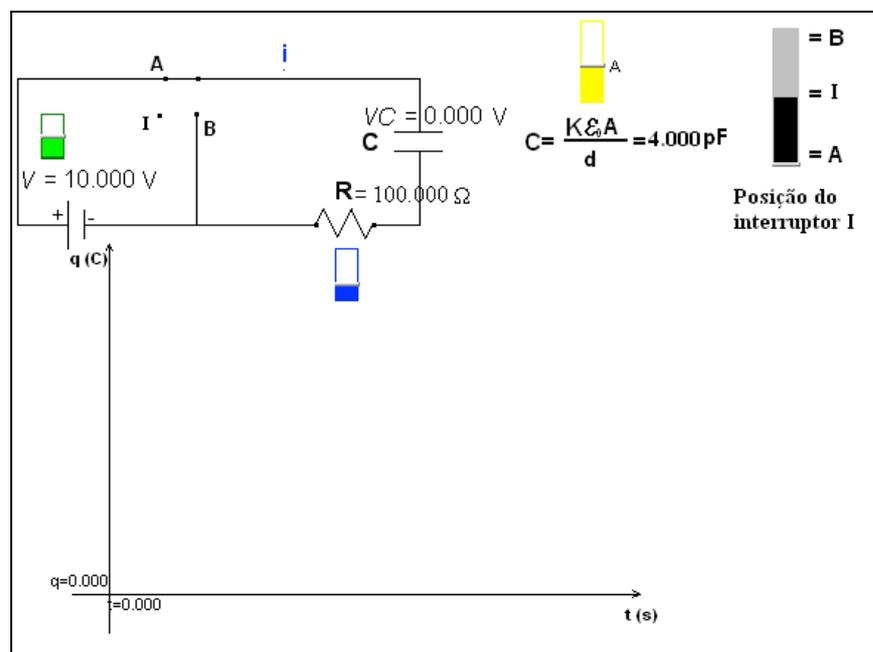


Figura 11 - Atividade de simulação computacional sobre circuito elétrico RC.

Ao identificar os referentes envolvidos como sendo os “condutores, resistor, fonte de tensão contínua, capacitor”, Raquel inferiu as seguintes idealizações: “a fonte não possui resistência interna, bem como os condutores; o resistor tem resistência constante, a capacitância do capacitor depende só de sua forma geométrica, que no caso é do tipo placas planas e paralelas, e este não perde carga para as vizinhanças”.

Ao desprezar a resistência elétrica da fonte e dos fios condutores, assim como a perda de carga elétrica do capacitor para o meio que o circunda, a aluna explicitou corretamente as idealizações assumidas na construção do modelo computacional. Contudo, não se pode considerar a possibilidade de alteração de um dos parâmetros (área de sobreposição das placas) associados à capacitância do capacitor como sendo uma idealização. Isso é apenas uma possibilidade de interação do usuário com o modelo computacional.

Na segunda metade da disciplina os alunos passaram a explorar simulações e modelos computacionais com auxílio do diagrama AVM. Na primeira dessas atividades, a meta era construir e apresentar um dAVM com base em uma simulação do movimento de queda de um paraquedista (Figura 12), construída no *software Modellus 2.5*, sem ter acesso à janela ‘Modelo’.

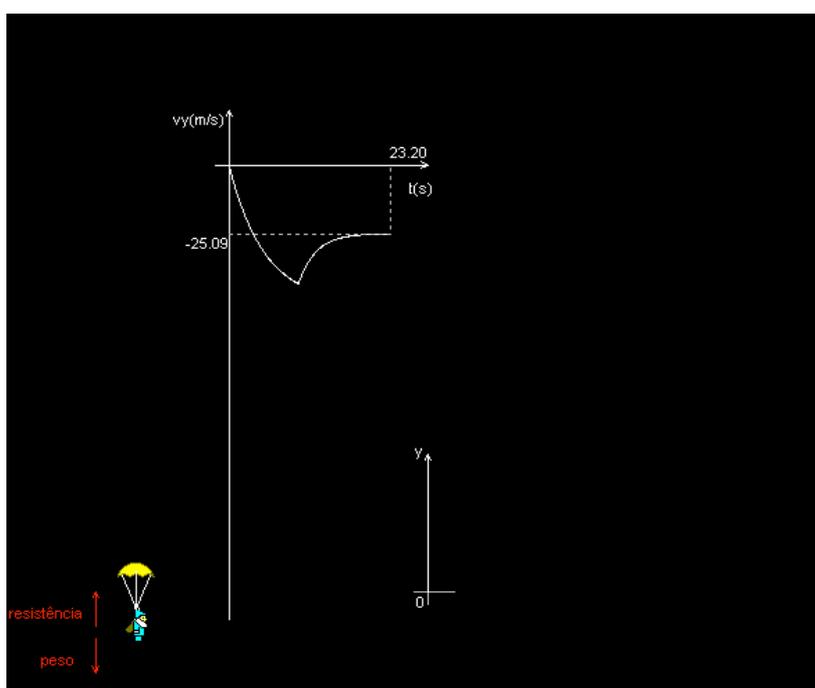


Figura 12 - Atividade de simulação computacional, com auxílio do dAVM, sobre o salto de um paraquedista.

Frente a essa simulação, ao considerar que “a aceleração da gravidade é constante; o movimento de queda é retilíneo e vertical; o papai Noel possui dimensões desprezíveis frente ao paraquedas; e a densidade do meio não se altera com a altitude”, Raquel demonstrou ter compreendido o conceito de idealização.

Contudo, apesar de ter inferido sobre a homogeneidade do meio resistivo, e de ter considerado o “paraquedista, a Terra, o ar e o paraquedas” como os referentes envolvidos na situação, a aluna não reconheceu como sendo relevante para a construção da simulação computacional a aproximação de que “a força de resistência do ar varia com uma potência n da velocidade”. Essa inferência só pode ser explicitada por Raquel, durante a apresentação do seu dAVM aos demais colegas, com auxílio da professora da disciplina.

Na primeira atividade expressiva de modelagem computacional, com auxílio do dAVM, Raquel tinha como metas: (i) construir e implementar no *software Modellus 4.01*, um modelo teórico para representar o movimento de um ioiô; e (ii) construir e apresentar o respectivo dAVM. O modelo computacional construído por Raquel é mostrado na Figura 13.

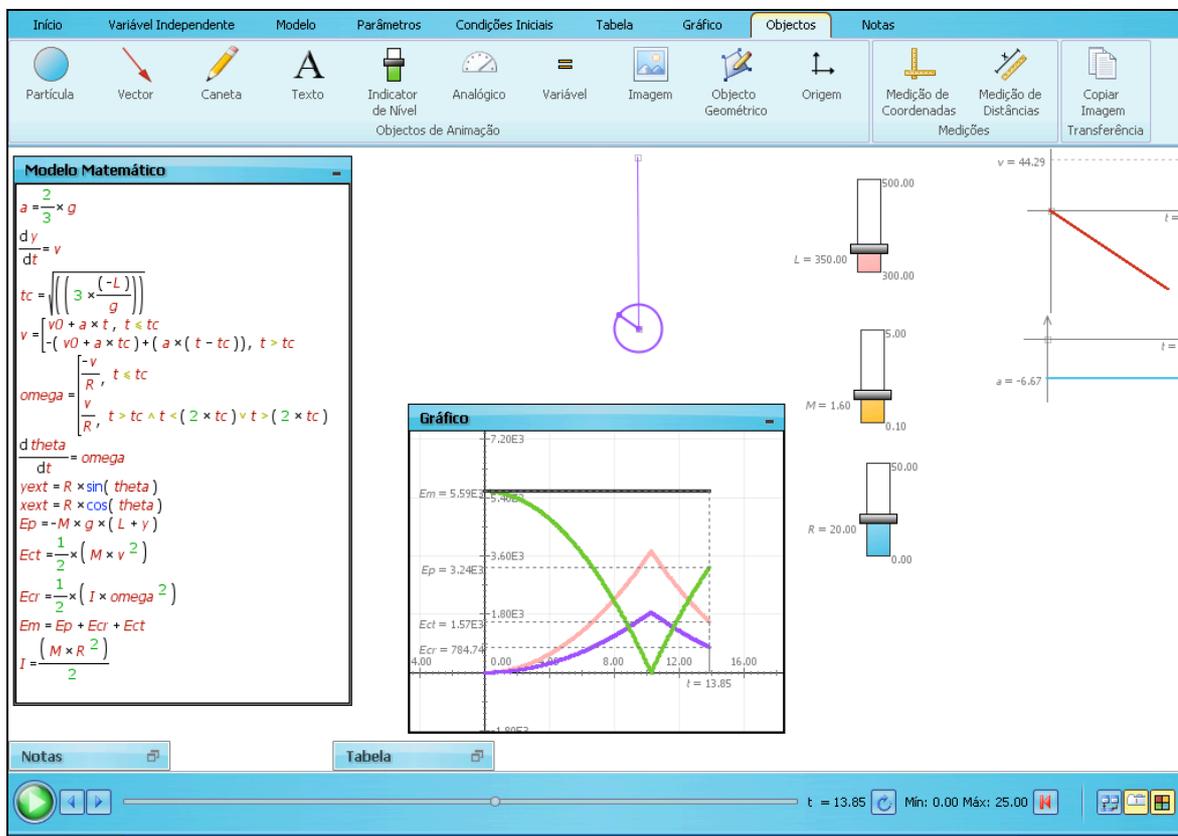


Figura 13 - Atividade expressiva de modelagem computacional sobre um ioiô.

Na construção e implementação desse modelo computacional, Raquel assumiu as seguintes idealizações: “o fio do ioiô não possui massa e é inextensível. Não existem forças dissipativas. A massa dos discos do ioiô é desconsiderada. Considera-se o ioiô como um cilindro. A aceleração gravitacional não varia com a altura. O movimento é perfeitamente vertical”.

O dAVM construído e apresentado por Raquel evidenciou avanços significativos no processo de conceitualização do movimento do ioiô, identificando e explicitando adequadamente, no que se refere ao domínio conceitual do dAVM: (i) os construtos; (ii) os referentes; (iii) as idealizações e aproximações assumidas; (iv) as variáveis, parâmetros e relações matemáticas utilizadas na construção do modelo teórico subjacente à implementação do modelo computacional; (v) assim como os resultados conhecidos e as previsões na tentativa inicial de validar e responder as questões-foco, respectivamente.

A entrevista realizada ao final da disciplina teve como objetivo investigar o processo de conceitualização de uma situação física do interesse de Raquel. Para tanto, a aluna deveria: (i) formular questões-foco sobre uma situação física do seu interesse; (ii) selecionar teorias, leis e princípios para abordá-la; (iii) assumir idealizações de modo a facilitar sua representação conceitual; (iv) delimitar o sistema físico de interesse e os agentes externos que com ele interagem; (v) selecionar equações e possíveis aproximações para melhor interpretar os resultados obtidos; e (vi) identificar resultados conhecidos que pudessem ser úteis no processo de validação do modelo construído, ou seja, na descrição de forma minimamente satisfatória da situação ou do fenômeno considerado.

O fenômeno físico escolhido por Raquel foi o da “revolução da Lua em torno da Terra e o movimento de translação da Terra em sua órbita ao redor do Sol”. A motivação dessa escolha é apresentada a seguir.

E aí, as perguntas que eu fiz, na verdade eu estou trabalhando num modelo como esse, enfim, para os fins da minha bolsa, são: porque a Lua apresenta fases? E porque a gente não vê sempre as mesmas constelações no céu noturno durante o ano? Seria o movimento anual, não é. Essas questões que eu procuraria responder com esse modelo.

No início da entrevista, Raquel foi questionada sobre a natureza do modelo por ela construído. **Que modelo é esse?**

É um modelo em que eu tenho o Sol como estrela fixa, a Terra orbitando o Sol e a Lua orbitando a Terra. Aqui eu vou ter uma região de sombra da Terra [apontando para um desenho no papel]. Digamos: se a Terra está aqui e o Sol aqui, nessa região é dia, na outra região é noite. Essas constelações fixas podem ser vistas, as outras não.

Na continuação da entrevista, Raquel argumentou que “a Lei da Gravitação Universal, as Leis de Newton e as Leis de Kepler, ou seja, Mecânica Clássica” eram de fundamental importância para auxiliá-la na compreensão do fenômeno físico. Adicionalmente, sugere que se devesse representar o sistema de três corpos Terra-Sol-Lua, em vista das questões que pretendia responder, assumindo:

... um monte de idealizações, porque são perguntas simples que eu quero responder com esse modelo. Então, eu fui simplificando o máximo que eu posso. As órbitas são circulares, porque para as minhas perguntas, isso não vai fazer diferença; elas se encontram todas no mesmo plano, eu não vou perguntar: porque não acontece eclipse todo o mês? Então, a órbita da Lua está no mesmo plano da órbita da Terra em torno do Sol. A velocidade angular dos corpos em suas órbitas não varia. Isso é consequência dos movimentos serem circulares. O Sol, então, está no centro da órbita circular. O Sol está fixo, ele não orbita o centro da galáxia e não exerce influência gravitacional sobre a Lua. Isso é importante, porque é uma idealização forte. E os corpos são esferas perfeitas. Eu não posso considerar eles como massas pontuais, porque tem toda a questão das fases e eu preciso que eles sejam esféricos, esferas perfeitas.

O entrevistador, então, questionou Raquel sobre o conceito de idealização. **De modo geral, o que são as idealizações?**

As idealizações são simplificações que eu vou fazer para que eu possa construir, equacionar, fazer a matemática do meu problema. Se eu for considerar todos os fatores, eu nunca vou poder fazer um modelo porque eu tenho variáveis e parâmetros demais e eu não consigo trabalhar com isso. Uma modelagem aborda um problema que tem que ser simplificado e as idealizações são as coisas que a gente admite para que o problema se torne modelável, digamos assim.

Voltando à modelagem do problema de três corpos, Raquel deixou claro ter enfrentado dificuldades para identificar as entidades que fariam parte da situação a ser modelada:

Eu fiquei um pouco confusa com essa questão. Fazem parte desse sistema o Sol, a Terra e a Lua e as estrelas fixas. No modelo que eu estou construindo, em particular, eu estou tratando só das constelações do zodíaco. Então, não existe a atuação de entidades externas, porque as forças são: a força que o Sol exerce na Terra, que a Terra faz no Sol, que a Terra faz na Lua e que a Lua faz na Terra.

O entrevistador, então, questionou Raquel sobre referentes. **De modo geral, o que são os referentes de um modelo?** “Os referentes são a realidade que eu quero modelar. No caso, eu vou colocar uma bolinha que vai representar o Sol. O Sol é o referente real. Aquela bolinha é uma representação dele”.

Na continuação da entrevista, Raquel ressaltou não ter usado nenhum tipo de aproximação matemática.

Não, aproximação, não. Depois que eu já usei todas aquelas idealizações, eu não cheguei em nenhuma aproximação. As equações que eu mais ou menos resolvi o problema aqui foram: a força gravitacional tem uma expressão, ela atua como força centrípeta, que depende da velocidade e como sei a velocidade, eu sei o raio da trajetória, então eu sei a velocidade angular, sei a relação entre a velocidade angular e o ângulo, que é o ângulo theta. E de theta eu venho para x e y para conseguir obter as trajetórias que eu gostaria.

Seguindo na mesma linha de raciocínio, o entrevistador interrogou Raquel sobre aproximações. **De modo geral, o que são as aproximações?**

As aproximações de um modelo são, por exemplo, quando eu faço $\sin \theta \approx \theta$. Idealização é eu dizer, sei lá, que o pêndulo, ele só oscila com ângulos pequenos, mas eu estou fazendo uma aproximação que $\sin \theta$, para ângulos pequenos, é θ .

Imediatamente, o entrevistador torna a questioná-la. **Acho que não ficou claro para mim qual a diferença entre idealização e aproximação, do teu ponto de vista.**

Aproximação é uma coisa matemática e a idealização é uma coisa física. Eu descarto realidades físicas para fazer uma idealização e aproximação é uma coisa matemática. Sei lá, eu vejo que $\sin \theta$ é muito parecido com θ , quando θ é pequeno e aí então eu digo $\sin \theta \approx \theta$. Mas não é uma idealização porque não tem uma realidade física sem um contexto.

Na continuação da entrevista, Raquel deixou claro que o processo de validação de um modelo consiste, entre outras coisas, na explicação de resultados já conhecidos e consolidados.

Na verdade, quando eu fui responder essa pergunta, eu me dei conta de que quando eu formulei as questões, eu poderia ter formulado de uma maneira diferente porque eu pergunto ali: por que não vemos sempre as mesmas constelações no céu noturno durante o ano? Eu poderia ter perguntado: o que se observa em relação às constelações visíveis durante o ano no céu noturno? Porque aí eu poderia dizer, as constelações não são as mesmas. Isso é um resultado conhecido. Eu por exemplo que no inverno eu vou ver Escorpião e no Verão eu vou ver, aliás, no final do

inverno eu vou ver Escorpião e assim por diante. Mas um dos resultados conhecidos é: o período de revolução da Lua em torno da Terra é bem menor que o período de revolução da Terra em torno do Sol. E isso é uma maneira de ver se o meu modelo alcança os resultados conhecidos. Eu sei que se a Lua dá mais ou menos uma volta na Terra em um mês, e a Terra dá mais ou menos uma volta em torno do Sol em 1 ano, a Lua tem que dar mais ou menos doze voltas na Terra durante a volta que a Terra dá ao Sol.

Finalmente, o entrevistador questionou Raquel sobre as possibilidades de expansão para o modelo. **Como poderias melhorar esse teu modelo, depois de construído?**

Eu poderia por órbitas elípticas, já que a excentricidade da órbita da Lua não é desprezível, por exemplo. Eu posso colocar a influência gravitacional do Sol sobre a Lua e aí de repente eu posso, tridimensional fica complicado. Eu não posso fazer isso no meu modelo. Eu gostaria de poder considerar que o plano da órbita da Lua não é o mesmo que o plano da órbita da Terra em torno do Sol, mas isso é uma limitação que eu não tenho como resolver.

A partir dessa entrevista, sem deixar de considerar os demais resultados, foi possível constatar dois aspectos relacionados à proposição de que o processo de modelagem científica pode ser visto como um campo conceitual subjacente ao domínio de campos conceituais específicos da Física. O primeiro diz respeito ao fato de que, quando Raquel pode escolher o que modelar, optou por um sistema físico de interesse em Astronomia, sobre o qual possuía bons conhecimentos. O segundo está relacionado ao fato de que os conhecimentos de Raquel sobre modelagem científica em Física foram mobilizados com maior facilidade em alguns campos conceituais específicos da Física do que em outros, permitindo-lhe reconhecer informações pertinentes às situações a serem modeladas em algumas áreas da Física, mas não em outras.

5.3.1.3. Quanto aos invariantes operatórios

Nessa subseção são apresentados indícios de dois invariantes operatórios utilizados por Raquel: o primeiro associado à construção de modelos didático-científicos e o segundo relativo à validação de modelos computacionais.

Na primeira atividade realizada na disciplina, os alunos deveriam reconhecer a importância do delineamento de um problema por meio da formulação de questões relevantes e solucionáveis com o conhecimento de que dispunham; e das teorias e dos modelos científicos na proposição de soluções no contexto da Física. Duas das cinco situações que lhes

foram apresentadas estão mostradas no Quadro 15. A primeira linha serviu de exemplo para ilustrar o tipo de resposta esperada.

Quadro 16 - Questões-foco, modelo conceitual, teoria geral e modelo teórico propostos por Raquel, em itálico, para modelar cada uma das situações apresentadas.

Situação a ser modelada	Questões-foco	Modelo conceitual	Teoria geral	Modelo teórico
Uma barra de ferro incandescente.	1) A que se deve a emissão de radiação eletromagnética emitida pela barra de ferro? 2) Qual a frequência de emissão desta radiação eletromagnética?	A matéria em nível microscópico é constituída de átomos que devem ser entendidos como uma distribuição esférica homogênea de carga positiva (sem massa), no interior da qual os elétrons estão distribuídos uniformemente em anéis concêntricos.	Eletrodinâmica Clássica	Modelo atômico de Thomson: $\vec{r} = e^{-t/2\tau} \left(\vec{r}_0 \cos \omega t + \frac{\vec{v}_0}{\omega} \sin \omega t \right)$ $\omega = \sqrt{\frac{e^2}{ma^3}}$ $v = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{e^2}{ma^3}}$
Escoamento de água no interior de uma tubulação.	1) Como se comporta a vazão de um fluido em um ponto qualquer de um tubo de diâmetro variável? 2) Como se relaciona as grandezas pressão, velocidade e altura da coluna de líquido num fluido escoando?	A água é incompressível, irrotacional e não viscoso.	Hidrodinâmica	Equação da continuidade: $R = A \vec{v} $ Equação de Bernoulli: $\frac{1}{2} \rho v^2 + p_0 + \rho hg = cte$
Uma caixa d'água completamente cheia.	Como se comporta a pressão em um ponto a uma profundidade h no interior de uma caixa d'água?	A densidade da água é constante, a água é incompressível, irrotacional e não viscosa.	Hidrostática	Lei de Stevin: $p = p_0 + pgh$

O modelo conceitual proposto por Raquel para representar a água de modo simplificado, idealizado, foi o mesmo nas duas situações físicas, embora nas situações em que

o líquido está em equilíbrio, objeto de estudo da Hidrostática, não é necessário considerá-lo sem viscosidade e nem faz sentido concebê-lo como sendo irrotacional. Aliás, a irrotacionalidade é um conceito pertinente ao tipo de escoamento do fluido e não propriamente ao fluido.

Se por um lado essa evidência parece apontar para uma dificuldade conceitual de Raquel em Física de Fluidos, por outro lado, explicita o uso de um invariante operatório para dar conta de situações envolvendo a modelagem de sistemas, processos e fenômenos físicos, a saber: **a necessidade de idealizar ao máximo a situação física de interesse, a fim de tratá-la da forma mais esquemática possível, independentemente da perspectiva teórica sob a qual a situação esteja sendo abordada.**

Na terceira atividade de simulação computacional, os alunos tinham como metas: (i) formular questões-foco que pudessem ser respondidas com auxílio da simulação; (ii) reconhecer os referentes envolvidos e as idealizações assumidas; e (iii) explicitar as variáveis, os parâmetros e as relações matemáticas relevantes para a implementação da simulação no *software Modellus 2.5*, sem ter acesso à janela ‘Modelo’. O assunto tratado foi o do peso aparente de um sujeito sobre uma balança no interior de uma caixa que se move com aceleração a_y (Figura 14).

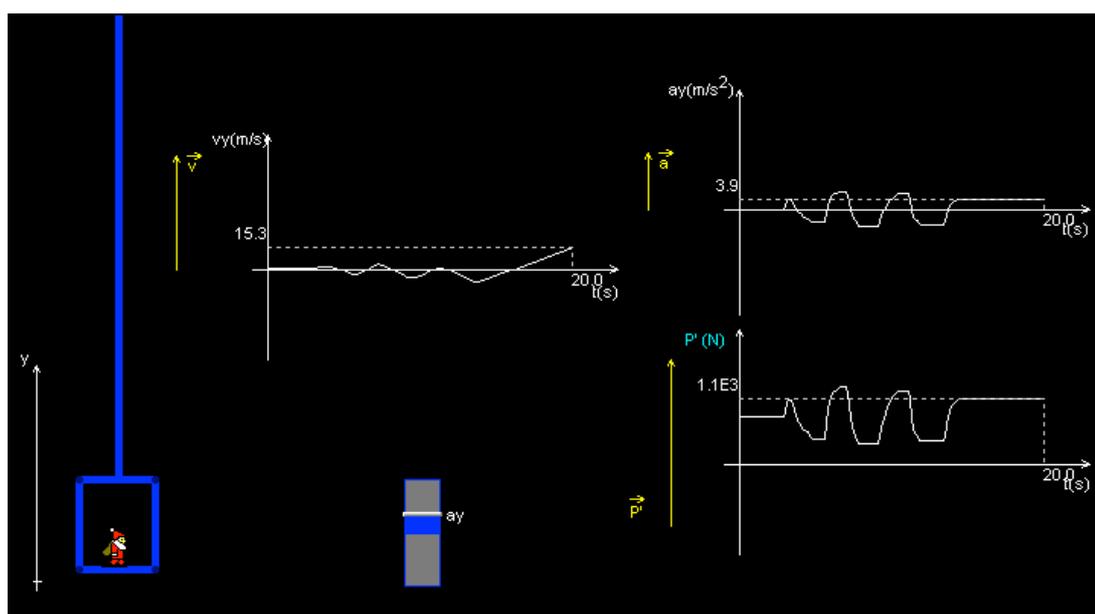


Figura 14 - Atividade de simulação computacional sobre peso aparente.

Ao problematizar essa simulação computacional, Raquel sentiu a necessidade de conceber a caixa móvel como um elevador e formulou duas questões-foco, capazes de reduzir a situação de interesse ao seu núcleo significativo:

Qual a medida efetuada por uma balança dentro de um elevador sobre a qual está postada uma pessoa de massa m , se o elevador sobe com aceleração constante? Esta medida é diferente daquela que se verificaria caso o elevador subisse com velocidade constante?

Em razão dessa contextualização, a aluna inferiu as seguintes idealizações sobre a simulação computacional: “campo gravitacional constante e cabo inextensível”. De fato, admitir que o campo gravitacional seja uniforme é uma idealização relevante, pois simplifica a interação Terra-sujeito, sem prejuízo daquilo que se pretende investigar, a saber: a variação do peso aparente de um sujeito sobre uma balança no interior de uma caixa que se move com aceleração variável. Contudo, considerar o cabo inextensível parece revelar novamente a necessidade de: (i) num primeiro momento, incluir todas as entidades possíveis e imagináveis na situação a ser modelada; para (ii) numa segunda etapa, idealizar todo e qualquer elemento possível de ser representado esquematicamente, visto que os referentes envolvidos na situação, sob o ponto de vista da Raquel eram: “Terra, elevador, corpo dotado de massa, e sistema de cabos e motor do elevador”. Note que a balança, embora esteja presente na formulação de suas questões-foco, não é reconhecida como um referente real.

Ainda que se possa conceber a caixa móvel como um elevador, a fim de contextualizar a situação representada na simulação computacional, reconhecer e/ou inferir algo sobre os cabos e o motor do elevador é irrelevante para o que se quer estudar. Segundo Weil-Barais e Vergnaud (1990), as explicações dadas pelos estudantes, mesmo aqueles em níveis mais avançados, costumam, entre outros aspectos: (i) enfatizar as características perceptivas e relacionadas a eventos da situação; (ii) descrever os elementos da situação apenas em termos de suas propriedades e funções, e não das suas interações; e (iii) conceber as interações entre os elementos da situação de modo assimétrico. Tais modos de compreensão costumam ser inadequados, pois frequentemente conduzem a previsões errôneas (WEIL-BARAIS; LEMEIGNAN; SERE, apud WEIL-BARAIS; VERGNAUD, 1990, p. 74).

Adicionalmente, o reconhecimento dessas entidades como sendo pertinentes à situação simulada parece estar intimamente relacionado à dificuldade da aluna em identificar

o sistema físico de interesse e os agentes externos que com ele interagem. O peso aparente do sujeito é numericamente igual à força exercida pela balança sobre ele.

A expressão $P' = m(a + g)$ pode ser obtida pela aplicação da Segunda Lei de Newton ao sujeito (sistema físico) que está interagindo com a balança e a Terra (agentes externos). Em Física, assim como em Álgebra, como argumentam Weil-Barais e Vergnaud (1990, p. 75-76), as dificuldades que os estudantes enfrentam para compreender o significado das representações simbólicas dependem não só da habilidade que o sujeito possui para representar entidades e suas relações, mas também de elementos conceituais que devem ser levados em conta, tais como os conceitos de sistema, estado, interação, transferência, conservação, etc., só para ilustrar alguns no campo da Mecânica. A identificação do “tempo, velocidade e altura” como as variáveis relevantes e da “massa, aceleração e campo gravitacional” como os parâmetros pertinentes à construção da simulação, além das relações “ $F_r = ma$, $P = mg$, $\frac{dv}{dt} = ay$ e $\frac{dy}{dt} = vy$ ”, exemplificam claramente um dos aspectos mencionados anteriormente: o caráter assimétrico da interação sujeito-balança, visto que a força normal (de reação àquela exercida pelo sujeito sobre a balança) foi completamente negligenciada pela aluna.

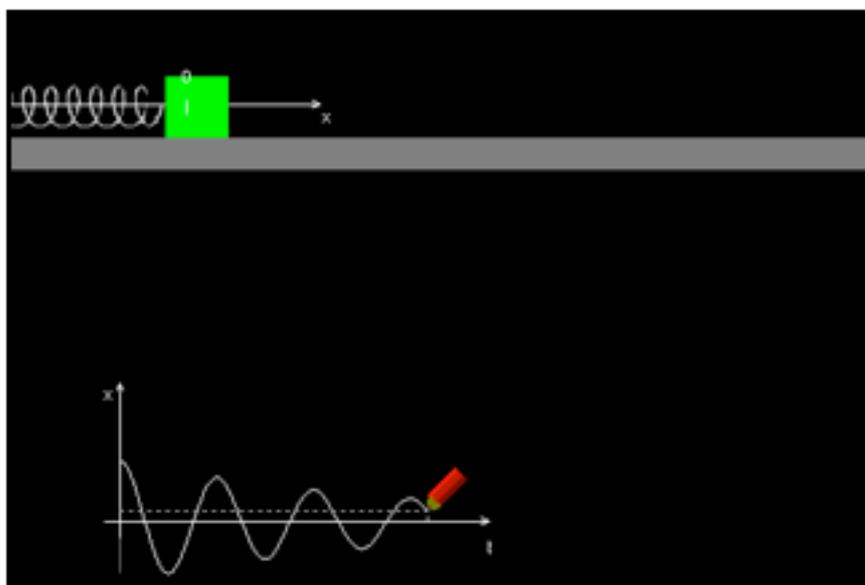


Figura 15 - Atividade exploratória de modelagem computacional, com auxílio do dAVM, sobre o movimento de um bloco preso a uma mola e sujeito à força de atrito com a superfície.

Na segunda atividade exploratória de modelagem computacional, com auxílio do dAVM, o grupo do qual Raquel fazia parte tinha como objetivo construir e apresentar um

dAVM para a simulação do movimento de um bloco preso a uma mola e sujeito à força de atrito com a superfície sobre a qual oscila, construída no *software Modellus 2.5*, desta vez, tendo acesso à janela ‘Modelo’, apresentada na Figura 15.

Entretanto o modelo matemático continha, propositadamente, o seguinte erro de concepção: a força resultante exercida sobre o bloco era dada pela expressão $F = -kx - bv$. Ou seja, o segundo termo à direita da igualdade estava representando uma situação em que há força de resistência do ar e não de atrito com a superfície. Contudo, o dAVM construído por Raquel apresentava a seguinte questão-foco: “qual o comportamento da amplitude de oscilação de um sistema massa-mola quando se considera o atrito entre a superfície e a massa”? Adicionalmente, as idealizações e aproximações assumidas eram de que “a mola obedece à Lei de Hooke, não possui massa e não há atrito do sistema com o ar”. Já os referentes envolvidos na situação modelada foram reconhecidos como sendo “a mola, a massa, o piso e a parede”, como mostra a Figura 16.

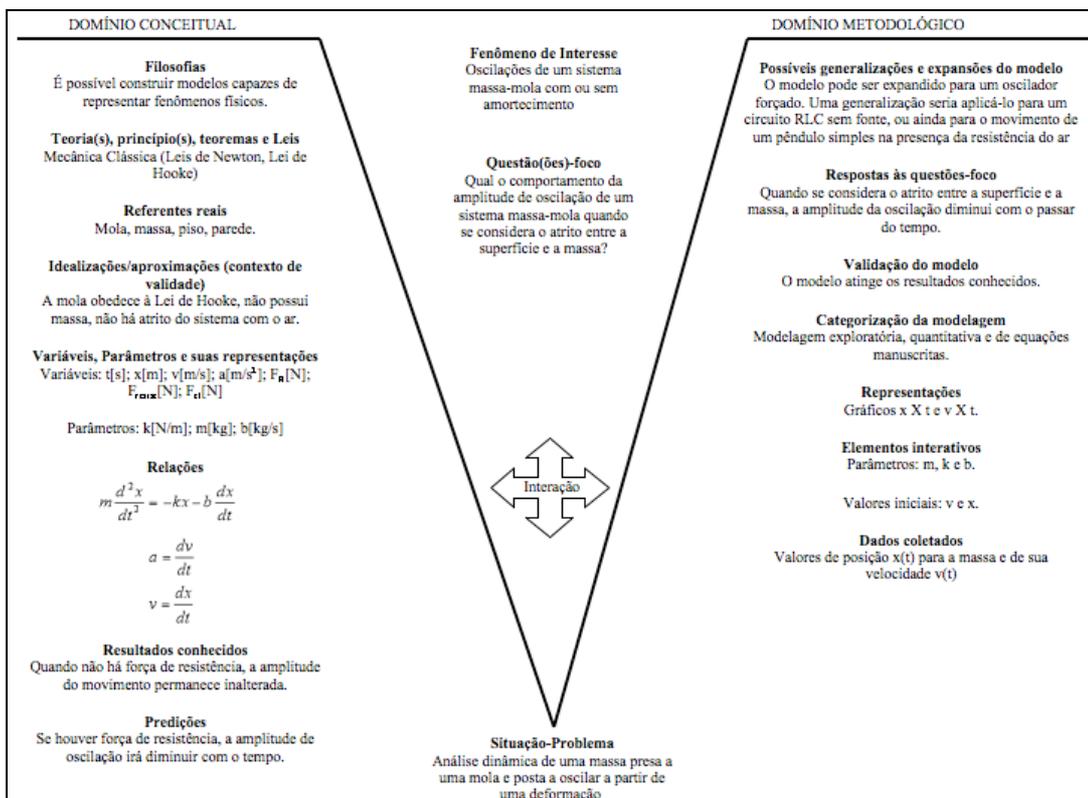


Figura 16 - Primeiro dAVM construído por Raquel sobre o modelo computacional acerca do movimento do bloco preso a uma mola e sujeito à força de atrito com a superfície.

Ao final da exposição do dAVM, estabeleceu-se o seguinte diálogo entre Raquel e a professora:

Raquel: *Deu muita discussão sobre o amortecimento do sistema: se era atrito com o piso ou atrito com ar. Daí a gente chegou à conclusão de que era atrito com o piso e não com o ar.*

Professora: *Mas isso não estava escrito na janela Notas? Está escrito na janela Notas que é com o piso. Lá diz: atrito entre duas superfícies sólidas. Então, estaria na linha do que vocês concluíram, pois vocês colocaram no dAVM que não há resistência do ar. Mas eu gostaria de entender porque vocês concluíram isso?*

Raquel: *Eu não me lembro. Mas eu me lembro que eu não tinha essa opinião.*

Professora: *Mas como é o atrito com o piso?*

Raquel: *É μN , por isso eu achava que não era atrito com o ar.*

Esse diálogo evidencia o uso de um invariante operatório, por parte da estudante, que possivelmente esteja atuando como obstáculo epistemológico na validação de simulações ou modelos computacionais de sistemas, processos e fenômenos físicos: **o pressuposto de que as simulações ou modelos computacionais estão corretos e não precisam ser submetidos a testes capazes de identificar eventuais fontes de erro e/ou limites de validade.**

Mesmo tendo conhecimento da expressão matemática frequentemente utilizada para representar a força de atrito com a superfície, e acesso ao modelo matemático subjacente à animação, Raquel não questionou a professora sobre o erro contido no modelo computacional, durante a construção do dAVM. Esse episódio faz crer que caso fosse solicitada a modelar a mesma situação com lápis e papel, provavelmente, Raquel representaria a força de atrito com a superfície pela expressão $F_{\text{atrito}} = \mu N$. Como destacam Medeiros e Medeiros (2002, p. 81):

Se essa modelagem não estiver clara para professores e educandos, se os limites de validade do modelo não forem tornados explícitos, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes. Tais danos tornar-se-ão ainda maiores se o modelo contiver erros grosseiros. A nossa própria experiência educacional nos tem mostrado vários casos nos quais estudantes, por vezes talentosos, têm sido ludibriados pela beleza e pelo fascínio da realidade virtual em certas simulações.

Ao final dessa aula, a professora sugeriu à Raquel que modificasse o modelo matemático de acordo com a sua crença inicial, a fim de representar adequadamente uma situação em que, de fato, houvesse uma força de atrito entre o bloco e a superfície sobre a qual ele oscila. Com base nesse processo de revisão do modelo teórico, a professora também sugeriu que um novo dAVM fosse construído. A Figura 17 mostra esse novo dAVM.

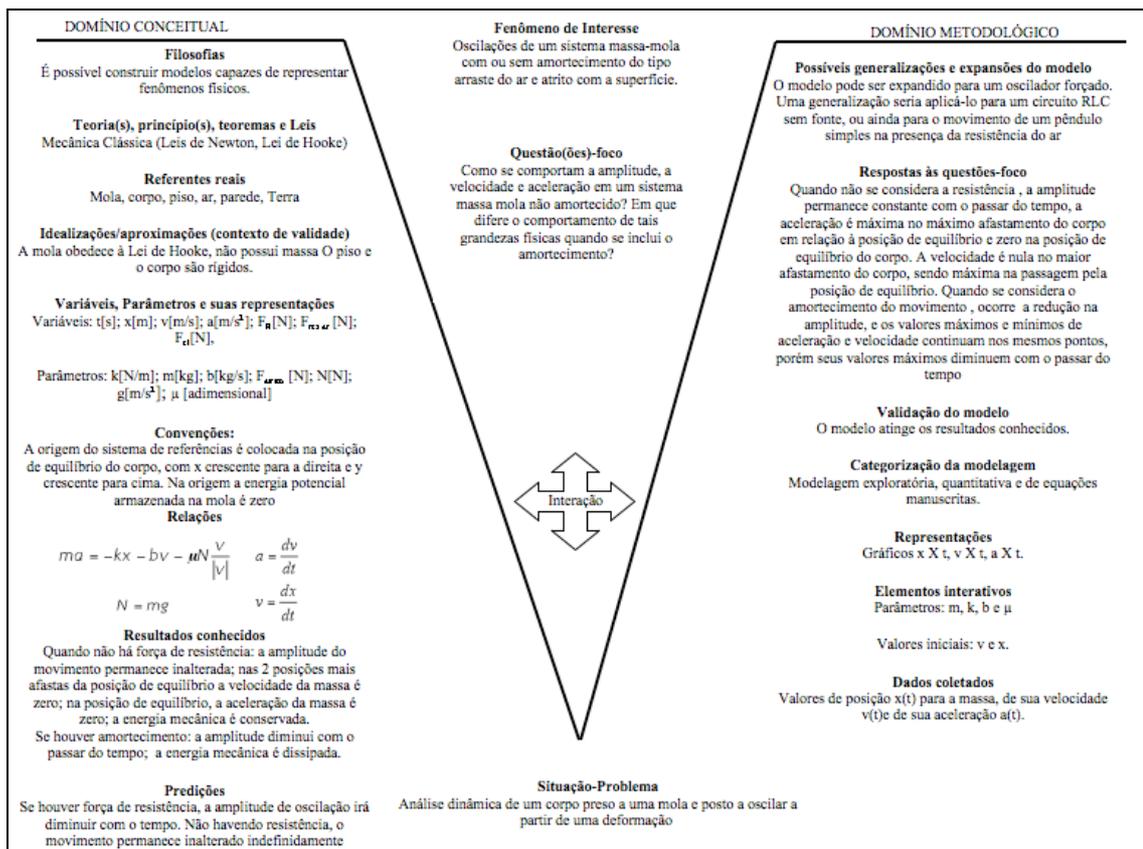


Figura 17 - Segundo dAVM construído por Raquel sobre o modelo computacional acerca do movimento do bloco preso a uma mola e sujeito à força de atrito com a superfície.

A segunda versão do dAVM construído por Raquel continha diversas melhorias e enriquecimentos, se comparado à versão original, a começar pelo enunciado do fenômeno de interesse: “oscilações de um sistema massa-mola com ou sem amortecimento do tipo arraste do ar e atrito com a superfície”. A questão-foco que contextualizava tal fenômeno foi formulada do seguinte modo: “como se comportam a amplitude, a velocidade e aceleração em um sistema massa-mola não amortecido? Em que difere o comportamento de tais grandezas físicas quando se inclui o amortecimento”? O novo modelo matemático, mais complexo, resultou de diversas alterações. Dentre elas, a incorporação de dois novos referentes, além daqueles já identificados na primeira versão: “mola, corpo, piso, ar, parede e Terra”. Novas interações foram reconhecidas. A força resultante que passou a atuar no bloco era dada pela

expressão $m \times a = -k \times x - b \times v - \mu \times N \times \frac{v}{|v|}$, onde $N = mg$. Novas idealizações e aproximações foram inferidas, a saber: “a mola obedece à Lei de Hooke e não possui massa. O piso e o corpo são rígidos”.

5.3.2. Estudo V⁴¹

Nesta seção, diferentemente da anterior, optou-se por apresentar e discutir os resultados obtidos respeitando, na medida do possível, a ordem cronológica em que os dados foram coletados ao longo da disciplina TICs-II, no semestre letivo 2009/02⁴².

A aula 01 foi dividida em duas partes. A primeira parte foi dedicada à apresentação da disciplina pela professora responsável, ao cadastramento dos alunos na plataforma de educação a distância Moodle – UFRGS e à apresentação do *software Modellus*, nas versões 2.5 e 4.01. Na segunda parte, os alunos deram início à Tarefa 1, vide Apêndice E, na qual deveriam realizar uma série de exercícios no *Modellus 4.01*, sobre cinemática unidimensional, bidimensional e vetores, para conhecer as potencialidades e limitações do *software*.

Ao final da aula 01, os alunos foram entrevistados individualmente e questionados sobre ‘o que é’ e ‘para o que serve’ um modelo científico em Física. Além disso, os alunos também foram questionados sobre a relação entre teoria, modelo e realidade, no contexto da Física.

Os Quadros 16, 17 e 18 apresentam uma classificação dos enunciados explicitados pelos alunos, em termos de três categorias de análise: precursor cognitivo, viés cognitivo e obstáculo epistemológico.

⁴¹ Este estudo está submetido à publicação, na forma de artigo, na Revista Investigações em Ensino de Ciências.

⁴² Vale lembrar que o Estudo V buscou estender os resultados do Estudo IV para a turma de professores de Física do Ensino Médio matriculados em TICs-II em 2009/02. Contudo, essa busca não teve como objetivo generalizar os resultados do Estudo IV para uma população maior de professores, mas dar sentido às formas predicativa e operatória do conhecimento dos alunos de TICs-II em ‘situações de modelagem computacional’ em Física, com fins didáticos.

Quadro 17 - Enunciados explicitados pelos alunos sobre a natureza dos modelos científicos, no contexto da Física, no início da disciplina.

Enunciados que podem ser vistos como:		
Precursor cognitivo	Viés cognitivo	Obstáculo epistemológico
<i>Um modelo seria uma maneira de analisar especificamente um determinado fato que você observa na realidade. Então, eu diria que um modelo tenta representar algo. [...] Não tem como você chegar a um modelo que represente a totalidade de variáveis em uma determinada situação. [...] Mas modelo para mim é isso: uma forma de você representar um determinado fato, uma determinada situação. É uma tentativa de fazer representações. (Alison)</i>	<i>Um modelo tenta colocar um molde em alguma coisa, tenta dar forma (Alison).</i>	<i>Então eu penso que modelo é algo que está me dizendo, olha, até hoje, ou melhor, o modelo para esse fenômeno é esse aqui. Isto é um modelo em Física (Gerônimo).</i>
<i>Um modelo seria uma tentativa de descrição de algum fenômeno, uma tentativa de explicação. Não que o modelo seja uma explicação, mas uma descrição de um fenômeno que aconteça. Tu bola [crias] um modelo para tentar explicar depois (Élvis).</i>	<i>Modelo para mim é uma trilha. Isso funciona assim! Mas o modelo pode ser mudado. Então, eu penso que qualquer modelo, e especificamente na Física, serve para me mostrar uma direção sobre como aquilo se desenvolve (Gerônimo).</i>	<i>Eu posso ter vários modelos para um mesmo fenômeno. Mas, normalmente, a gente tem um modelo que está associado a uma teoria. Porque eu posso ter vários. Mas é um que está associado à teoria. E ele pode se aproximar bastante do que nós temos na realidade (Gilson).</i>
<i>O modelo científico não traduz exatamente a realidade, mas pode se aproximar bastante da realidade (Gilson).</i>	<i>Para tu explicares alguma coisa, tu tens que ter alguns parâmetros, uma situação que eu consiga visualizar. Então, criar um modelo é tentar dar uma representação visual de um determinado fenômeno. [...] É tentar criar uma representação, uma imagem ou uma descrição de algo que eu imagino que seja. Isso seria a criação de um modelo, assim como eu faço uma maquete de algo que eu estou planejando, criando um modelo daquilo ali, daquilo que eu julgo que seja a verdade sobre aquilo ali (Robson).</i>	<i>Um modelo seria um conjunto de postulados, leis, ou algo nesse sentido, que procura explicar um determinado fato, um determinado evento ou determinados eventos (Luis Guilherme).</i>
<i>Quando você tem uma situação física muito complexa, você começa a podar algumas coisas para simplificar. Então, um modelo seria uma simplificação de uma situação real, que é muito útil, pois serve para descrever várias coisas de maneira mais simples. Só que ele tem as limitações dele. Você não pode pegar um modelo e sair aplicando, se ele tem condições muito mais especiais do que aquelas nas quais você construiu ele (Rosária).</i>	-	<i>O modelo é algo para que a gente possa entender o fenômeno. Não quer dizer que seja exatamente daquela forma que ocorre, mas a melhor forma que a gente pode estar entendendo, pode estar passando para as outras pessoas. Os modelos estão justamente aí por causa dessa questão. Eles não são exatamente uma verdade, mas estão o mais próximo da verdade possível, para que possam ser trabalhados, para que a ciência possa trabalhar como um todo (Luis Pedro).</i>
<i>Modelo é algo que a gente usa para representar uma determinada</i>	-	-

Enunciados que podem ser vistos como:		
Precursor cognitivo	Viés cognitivo	Obstáculo epistemológico
<i>situação. Então, eu crio um modelo. Eu crio uma situação que é parecida com aquela ou uma situação em que eu tenha menos variáveis, ou seja, uma situação que eu consiga descrever ela (Robson).</i>		

Como se pode observar, há aspectos conceituais subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos, na primeira coluna do Quadro 16, que podem ser vistos como precursores cognitivos para a construção de novos significados acerca da natureza dos modelos científicos, no contexto da Física. São eles: ‘descrição’, ‘situação’, ‘realidade’, ‘tentativa’, ‘representação’, ‘algo’, ‘complexidade’, ‘maneira’, ‘simplificação’, ‘variável’, ‘aproximação’ e ‘limitação’.

Se articulados conforme o parágrafo a seguir, que é uma síntese interpretativa feita pelo autor, tais aspectos mostram-se compatíveis com as ideias de que “um modelo sempre está relacionado com um alvo, que é representado pelo modelo. O termo ‘alvo’ se refere a um sistema, objeto, fenômeno ou processo” (VAN DRIEL; VERLOOP, 1999, p. 1142). E “os modelos usados em Física não são imagens da realidade subjacente, mas são vistos como representações de entidades reais” (SMIT; FINEGOLD, 1995, p. 622).

Síntese interpretativa do autor: um modelo é uma descrição aproximada de uma situação real, uma tentativa de representar algo complexo de maneira simplificada, através de um número limitado de variáveis.

Contudo, nenhum aluno foi capaz de explicitar tal nível de conceitualização, por si só, no início da disciplina.

Mas também há aspectos conceituais subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos, na terceira coluna do Quadro 16, que podem ser vistos como obstáculos epistemológicos à construção de significados adequados sobre a natureza dos modelos e do processo de modelagem científica, no contexto da Física. São eles: ‘o modelo do fenômeno’, ‘o modelo associado à teoria’, ‘modelo enquanto conjunto de postulados e leis’ e ‘o modelo mais próximo possível da verdade’.

Se articulados como no parágrafo seguinte, tais aspectos podem conduzir à ideia de que um modelo científico é um construto que deve apreender da melhor forma possível toda a complexidade daquilo a que se refere. Tal concepção é, no entanto, incompatível com a ideia de que, no contexto científico, “um modelo sempre difere em certos aspectos do alvo. Em geral, um modelo é mantido tão simples quanto possível. Dependendo dos interesses específicos da investigação, alguns aspectos do alvo são deliberadamente excluídos do modelo” (ibid, p. 1143).

Síntese interpretativa do autor: podem existir vários modelos para um mesmo fenômeno, mas aquele que está associado à teoria que explica o fenômeno é o que mais se aproxima da verdade.

Há, ainda, aspectos conceituais subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos, na segunda coluna do Quadro 16, que podem ser vistos como vieses cognitivos à conceitualização dos modelos científicos, no contexto da Física. São eles: ‘molde’, ‘forma’, ‘trilha’, ‘direção’, ‘imagem’, ‘visual’ e ‘maquete’.

Articulados de acordo com o próximo parágrafo, esses aspectos podem conduzir à ideia de que, no contexto da Física, um modelo também pode ser entendido como um análogo, desenho ou diagrama de algo, a exemplo de outros contextos. Porém, um modelo científico é muito mais do que tão somente uma representação visual, haja vista que “os modelos usados na Física não são imagens da realidade subjacente, mas são vistos como representações de entidades reais” (SMIT; FINEGOLD, 1995, p. 622). Ou, em outros termos, “um modelo em escala, isto é, uma cópia exata de um objecto em outra escala, não é considerado um modelo científico” (VAN DRIEL; VERLOOP, 1999, p. 1143).

Síntese interpretativa do autor: um modelo é uma representação visual de um fenômeno, tal como uma maquete que dá forma ou molda algo, um mapa que orienta por qual trilha seguir.

Conforme esclarece Bunge (1974, p. 26-27),

As teorias específicas ou modelos teóricos encerram objetos-modelo do tipo conceitual mais do que representações visuais literais ou figurativas. Sem dúvida, é possível sempre descrever o modelo com o auxílio de um diagrama e mesmo, às

vezes, com a ajuda de um modelo material – tais como os modelos esféricos das moléculas: este auxilia a compreender as idéias difíceis e algumas vezes a inventá-las. Não obstante, nem diagramas nem análogos materiais podem representar o objeto de uma maneira tão precisa e completa como o faz um conjunto de enunciados. A força de um objeto-modelo do tipo conceitual não é de natureza psicológica (heurística ou pedagógica): ela reside no fato de ser uma idéia teórica e, por conseguinte, uma idéia que se pode enxertar em uma máquina teórica a fim de pô-la a funcionar e produzir outras idéias interessantes. [...] Em resumo, os diagramas possuem uma utilidade psicológica mas não fazem parte das teorias, que são sistemas de proposições. Contentemo-nos com sua ajuda, mas desconfiemos deles, pois podem ser apenas metáforas sugestivas mais do que descrições literais de uma realidade que, sendo mais escondida do que aparente, não se deixa sempre representar de modo familiar.

Quadro 18 - Enunciados explicitados pelos alunos sobre o papel desempenhado pelos modelos, no contexto da Física, no início da disciplina.

Enunciados que podem ser vistos como:		
Precursor cognitivo	Viés cognitivo	Obstáculo epistemológico
<i>Para tentar representar uma determinada realidade (Alison).</i>		<i>A partir disso [de um primeiro modelo] tu comesas a bolar algo mais complexo que se aproxime ao máximo de uma situação real que aconteça na natureza (Élvis).</i>
<i>Os modelos servem para explicar alguma coisa, para te conduzir. Que coisa? Uma coisa ou algo que tu vê ou que tu não vê. Por exemplo, o modelo de como funciona o Sol. [...]Daqui há dez anos, pode ser que tenham lançado outro satélite e alguém vai dizer: gente não é bem assim, pois tem outra coisinha que vocês não tinham visto. Pronto! Mudou o modelo! Mas o modelo, sim, serve para explicar coisas (Gerônimo).</i>		<i>Exatamente para se aproximar de uma realidade. Ter algo mais próximo possível da realidade. Dentro da Física, o que eu vejo, pelo menos o que a gente mais ou menos tem discutido aí, de uma proximidade de uma verdade (Luis Pedro).</i>
<i>Acho que para facilitar a explicação de alguns fenômenos. Tu vais bolar [criar] um modelo que num primeiro momento facilita a explicação adotando aproximações diversas (Élvis).</i>		
<i>Para tentar explicar um fenômeno ou até simplificar um fenômeno; para eliminar algumas variáveis, e poder explicar ele de uma forma mais simples (Luis Guilherme).</i>		

Em relação ao papel desempenhado pelos modelos científicos, no contexto da Física, há aspectos conceituais subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos, na primeira coluna do Quadro 17, que podem ser vistos como precursores cognitivos para a construção de novos significados. São eles: ‘tentativa’, ‘representação’, ‘fenômeno’, ‘realidade’, ‘explicação’, ‘facilitação’, ‘aproximação’, ‘simplificação’ e ‘variável’.

Se articulados conforme o parágrafo a seguir, tais aspectos mostram-se compatíveis com as ideias de que “os modelos auxiliam o físico a prever, descrever e explicar fenômenos naturais, partículas e estruturas. As descrições não são completas. Eles simplificam fenômenos ou os tornam mais fáceis de lidar”. “Modelos são construções da mente humana e

provisórios por natureza” (SMIT; FINEGOLD, 1995, p. 622). E “um modelo é desenvolvido através de um processo iterativo, no qual dados empíricos com respeito ao alvo podem conduzir a uma revisão do modelo, enquanto que em um passo seguinte, o modelo é testado por um estudo mais aprofundado do alvo” (VAN DRIEL; VERLOOP, 1999, p. 1143).

Síntese interpretativa do autor: modelos servem para tentar representar a realidade de modo simplificado, aproximado e provisório, com o intuito de facilitar a explicação de algum fenômeno através da eliminação de variáveis.

Mas também há aspectos conceituais subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos, na terceira coluna do Quadro 17, que podem ser vistos como obstáculos epistemológicos à construção de significados adequados sobre o papel dos modelos científicos, no contexto da Física. São eles: ‘aproximar ao máximo da realidade’ e ‘aproximar ao máximo da verdade’.

Se articulados conforme o parágrafo seguinte, tais aspectos podem conduzir à ideia de que um modelo serve para se aproximar da verdade, explicando a realidade tal como ela é e não para dar conta de interesses de pesquisa. Tal concepção é, no entanto, incompatível com as ideias de que: “na concepção de um modelo, há um compromisso entre as analogias e as diferenças com o alvo, permitindo ao pesquisador fazer escolhas específicas. Este processo é guiado pelas questões de pesquisa”. E de que “um modelo sempre difere em certos aspectos do alvo. Em geral, um modelo é mantido tão simples quanto possível. Dependendo dos interesses específicos da investigação, alguns aspectos do alvo são deliberadamente excluídos do modelo” (ibid, p. 1143).

Síntese interpretativa do autor: os modelos servem para nos aproximar da verdade, da realidade tal como ela se apresenta aos sentidos.

Quadro 19 - Enunciados explicitados pelos alunos sobre a relação entre teoria, modelo e realidade, no contexto da Física, no início da disciplina.

Enunciados que podem ser vistos como:		
Precursor cognitivo	Viés cognitivo	Obstáculo epistemológico
<i>Mas a ideia é essa: que a teoria formule um bom modelo e que o modelo explique da melhor forma possível a realidade. Agora é claro, daqui a pouco eu começo a perceber algo na realidade que eu</i>	<i>Eu não tenho claro a diferença entre modelo e teoria. Digamos assim: eu poderia partir para a questão experimental e a questão mais teórica. A teoria não se preocupa tanto com a</i>	<i>A relação que eu faço é a seguinte: partindo da realidade, tenta-se criar um modelo. [...] À medida que os modelos são comprováveis e manipuláveis pode surgir um conhecimento mais generalizado de</i>

Enunciados que podem ser vistos como:		
Precursor cognitivo	Viés cognitivo	Obstáculo epistemológico
<i>não percebia antes. Então, eu mudo o meu modelo. E ele vai ficar melhor. Mas sempre sabendo que a minha teoria e o meu modelo não expressam o que é a realidade, porque a realidade eu percebo e nesse perceber eu posso estar percebendo coisas equivocadas (Gerônimo).</i>	<i>comprovação experimental. E o modelo já visa isso, ou não necessariamente também (Élvis).</i>	<i>uma determinada situação, uma solidificação desse conhecimento e tornar-se, então, uma lei. Partindo da “realidade”, tenta-se explicar essa realidade. Se isso é possível e pode-se compreender determinados fatos, a gente pode englobar esses modelos e formar umas teorias. Eu diria que um modelo é uma ferramenta para construir teorias (Alison).</i>
<i>É como se [o modelo] fizesse uma conexão entre a teoria e a realidade. O modelo está fazendo uma conexão entre o que o cara está imaginando na teoria, como se fosse um teste, para verificar realmente se aquilo ali está se aproximando com a realidade. É como se fosse uma ponte (Gilson).</i>		<i>O modelo em si tem a ligação com a realidade a partir do momento em que tu tenta explicar alguma coisa que tu observa na natureza e tu vai tentar explicar montando um modelo. E a teoria viria como uma explicação dos fatos, para transformar aquilo ali em conhecimento científico. Ou seja, transformar em palavras (Élvis).</i>
<i>Um modelo é uma simplificação da realidade. A teoria busca descrever a realidade. Eu acho que o modelo seja uma forma de facilitar a construção da teoria (Rosária).</i>		<i>O modelo seria uma tentativa de representar a realidade. Então, eu colocaria a teoria como algo que tu crias a partir de um modelo. Tu tens um modelo de uma situação real, não igual a situação real, mas próxima, e a teoria então seria as asserções de conhecimento que tu fazes, a partir do modelo, do funcionamento daquele modelo que tu tens, dos resultados que aquele modelo vai te proporcionar (Luis Guilherme).</i>
		<i>Para mim, o modelo é tentativa de representar a realidade. E a partir da análise desse modelo eu construo uma teoria que explica a realidade. Para mim, é um triângulo. Realidade representada através de um modelo, pois na realidade vai haver algumas variáveis que no meu modelo não vão ser contempladas, ou às vezes eu tento contemplar o máximo possível. E a partir da análise desse modelo eu construo uma teoria que de alguma forma vai explicar aquela situação real (Robson).</i>

No que diz respeito à relação entre teoria, realidade e modelo científico, no contexto da Física, há aspectos conceituais subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos, na primeira coluna do Quadro 18, que podem ser vistos como precursores cognitivos para a construção de novos significados. São eles: ‘modelo’, ‘formulação’, ‘teoria’, ‘conexão’, ‘ponte’ e ‘realidade’.

Se articulados conforme o parágrafo a seguir, tais aspectos mostram-se compatíveis com a ideia de que “a função dos modelos é a de mediar a relação entre teoria e realidade” (BUNGE, 1974; MORGAN; MORRISON, 1999).

Síntese interpretativa do autor: os modelos formulados no âmbito das teorias estabelecem uma ponte entre essas e a realidade.

Mas também há aspectos conceituais subjacentes aos enunciados explicitados pelos alunos, na terceira coluna do Quadro 18, que podem ser vistos como obstáculos epistemológicos à construção de significados adequados sobre a relação entre teoria, modelo e realidade, no contexto da Física. São eles: ‘as leis se originam da consolidação de modelos comprováveis e manipuláveis’, ‘um modelo é uma ferramenta para construir teorias’, ‘as teorias transformam as explicações em conhecimento científico’, ‘o modelo seria uma tentativa de representar a realidade e a teoria algo que cria-se a partir de um modelo’, ‘a teoria seria as asserções de conhecimento feitas a partir do modelo’ e ‘a partir da análise do modelo eu construo uma teoria que explica de alguma forma aquela situação’.

Se articulados conforme o parágrafo seguinte, esses aspectos podem conduzir à ideia de que um modelo é um estágio de maturação ou percurso metodológico pelo qual as teorias devem passar para que adquiram status de conhecimento científico. Tal concepção é incompatível com a ideia de que “uma clara distinção é feita entre um modelo e uma teoria física. Idealmente uma teoria deve conter a descrição de um modelo plausível que, por sua vez, representa alguma coisa, material, ou processo” (SMIT; FINEGOLD, 1995, p. 622).

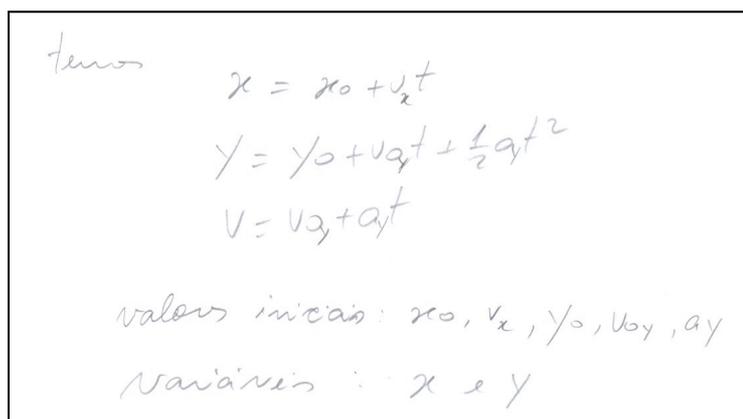
Síntese interpretativa do autor: As teorias transformam as explicações de modelos comprováveis e manipuláveis em conhecimento científico. Logo, o modelo seria uma tentativa de representar a realidade e a teoria algo que se cria a partir de um modelo.

Há, ainda, um aspecto conceitual subjacente ao enunciado explicitado por um aluno, na segunda coluna do Quadro 18, que pode ser visto como viés cognitivo para a construção de significados adequados sobre a relação teoria, modelo e realidade, no contexto da Física: ‘a teoria não se preocupa com a comprovação experimental, mas o modelo sim’.

Em relação ao primeiro aspecto conceitual é preciso dizer que apesar das teorias científicas mais gerais, tal como a Mecânica Newtoniana ou o Eletromagnetismo de Maxwell, não se pronunciarem diretamente sobre objetos ou fatos particulares, elas possuem objetivos realísticos, ou seja, de alguma forma, necessitam ser contrastadas com dados empíricos oriundos da experimentação/observação acerca de um sistema, processo ou fenômeno do mundo real, ou suposto como tal, através de modelos teóricos específicos.

A aula 02 também foi dividida em duas partes. Na primeira parte os alunos seguiram resolvendo os exercícios da aula anterior. A segunda parte foi reservada à realização da primeira avaliação individual, sobre cinemática uni e bidimensional, composta de duas questões, vide Apêndice E.

No primeiro item da Questão 1, Luis Pedro demonstrou dificuldade em identificar as variáveis (x , y , v_x e t), com seus valores iniciais (0 , não definido, -20m/s e 0), e os parâmetros (v_x e a_y), com seus respectivos valores (10m/s e 2m/s^2), envolvidos na descrição do movimento parabólico de uma partícula representado pelos gráficos da Figura 1.a da Questão 1.



Handwritten mathematical equations for projectile motion:

$$\begin{aligned}x &= x_0 + v_x t \\ y &= y_0 + v_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 \\ v &= v_y + a_y t\end{aligned}$$

Handwritten text: "temos" (we have)

Handwritten text: "valores iniciais: x_0, v_x, y_0, v_y, a_y " (initial values: x_0, v_x, y_0, v_y, a_y)

Handwritten text: "variáveis: x e y " (variables: x and y)

Figura 18 - Parte da resposta de Luis Pedro à Questão 1 da primeira avaliação individual.

A Figura 18 mostra parte da resposta de Luis Pedro à Questão 1 e evidencia a sua dificuldade em identificar as variáveis e os parâmetros envolvidos no modelo matemático constituído pelo conjunto de equações que ele próprio explicitou. Embora somente Luis Pedro tenha apresentado essa dificuldade na primeira avaliação individual, ela foi recorrente nos

estudos I, IV e V. E, do ponto de vista do autor, deve-se ao baixo nível de conceitualização, por parte dos alunos, acerca do que seja um sistema dinâmico.

Um sistema é dito dinâmico quando algumas das grandezas que caracterizam os objetos que o constituem variam no tempo. Logo, a evolução temporal das grandezas que descrevem o sistema físico de interesse é de importância fundamental no contexto da modelagem científica em Física, haja vista que os modelos que representam sistemas físicos dinâmicos podem ser classificados, por exemplo: (i) quanto à variável temporal, em discretos ou contínuos, em lineares ou não-lineares; (ii) quanto aos parâmetros, em concentrados ou distribuídos; e (iii) quanto à memória do sistema, em instantânea ou dinâmica (MONTEIRO, 2006).

Na Questão 2, os alunos foram unânimes em apontar a ausência da resistência do ar como o principal fator responsável pela discrepância entre as trajetórias descrita pelo jato d'água na foto do chafariz e pelas partículas dos modelos computacionais por eles construídos. Por outro lado, os alunos também foram unânimes em aproximar para $10 \frac{m}{s^2}$ o valor do módulo do vetor campo gravitacional e não considerar essa aproximação como um possível fator responsável pela discrepância entre as duas trajetórias referidas. Tal fato parece corroborar a ideia de que existem situações prototípicas em que os alunos assumem idealizações e aproximações automaticamente, isto é, sem ao menos refletirem sobre as implicações de tais simplificações.

A exemplo das aulas anteriores, a aula 03 também foi dividida em duas partes. Na primeira parte, os alunos se reuniram em grande grupo para realizar a leitura e a discussão de um texto sobre modelos científicos da Física, extraído de um livro-texto voltado para estudantes do Ensino Médio (GASPAR, 2000, p. 15). Na segunda parte, a professora de TICs-II ministrou a aula expositivo-dialogada 'Modelos científicos e modelagem no Ensino de Física'. Ao final dessa aula, a professora solicitou aos alunos que realizassem as tarefas 2 e 3, até a aula seguinte.

Na Tarefa 2, a exemplo do que foi no Estudo IV e mostrado no Quadro 15, os alunos deveriam problematizar uma situação física por meio da formulação de questões a serem respondidas com a proposição de um modelo teórico adequado, explicitando o objeto-modelo

e a teoria geral que lhe deram origem. Já na Tarefa 3, os alunos deveriam ler uma coletânea de textos de apoio sobre modelos e modelagem científica em Física (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2008d) e, depois, responder a dez questões relacionadas aos mesmos.

Após a realização das tarefas 2 e 3, todos os alunos obtiveram um avanço significativo na conceitualização de ‘modelo científico’ em Física. Com o intuito de exemplificar tal avanço, o Quadro 19 apresenta as respostas de três alunos, que foram escolhidos por serem representativos de toda a turma, em três das dez questões propostas na Tarefa 3.

Quadro 20 - Exemplos de respostas dos alunos a três questões da Tarefa 3.

Questão	Respostas
4.a. Considere a rotação da Lua em torno da Terra. Faça uma relação de todos os aspectos que, do seu ponto de vista, deveriam ser levados em conta para uma descrição ‘completa’ (e impraticável) do fenômeno.	<i>Ao tentar descrever de maneira utópica a plenitude das relações que envolvem o movimento da Lua em torno da Terra, eu poderia citar alguns pontos que deveriam ser levados em consideração, tais como: a não homogeneidade da composição de ambos os Astros, a interferência de forças gravitacionais externas ao sistema Terra-Lua, as imperfeições da trajetória da órbita, as variações de velocidade ao longo da órbita, entre outras (Robson).</i>
4.b. Explique agora quais as idealizações que devem ser feitas para tratar o fenômeno de forma simplificada. Descreva o objeto-modelo resultante.	<i>Uma forma de idealizar o movimento da Lua em torno da Terra, iniciaria pela determinação de um sistema isolado, onde a ação de forças externas são desconsideradas, seguida pela suposição de que ambos os astros são como pontos materiais em movimento no espaço imperturbável, onde a Lua descreve um movimento circular uniforme em torno da Terra. Dentro desta ótica, o modelo proposto seria facilmente descrito com base em princípios da Mecânica Newtoniana (Robson).</i>
5.a. Considere uma criança ‘andando’ de balanço. Faça uma relação de todos os aspectos que, do seu ponto de vista, deveriam ser levados em conta para uma descrição ‘completa’ (e impraticável) da situação.	<i>Considerar a massa da criança e do balanço. Deve ser levada em conta também a força de atrito da corrente com o suporte do balanço, assim como a resistência com o ar. Levando em conta o formato da criança para considerar a resistência do ar. Considerar que no local a aceleração da gravidade sofre pequenas variações a serem levadas em conta. A massa da corda do balanço deve ser considerada, podendo também sofrer pequenas variações em seu comprimento. Deve-se também levar em conta que a criança produz movimentos enquanto o balanço oscila, podendo assim manter a oscilação do balanço ou até aumentá-la (Gilson).</i>
5.b. Explique agora quais as idealizações que devem ser feitas para tratar a situação de forma simplificada. Descreva o objeto-modelo resultante.	<i>Desprezar a força de atrito no balanço e a resistência com o ar. Considerar a criança como sendo um ponto material onde se localiza toda a sua massa. Desprezar a massa do balanço. Adotar a aceleração da gravidade do local constante e o cabo do balanço inextensível (Gilson).</i>
6.a. Considere o lançamento oblíquo de um projétil nas imediações da Terra. Faça uma relação de todos os aspectos que, do seu ponto de vista, deveriam ser levados em conta para uma solução ‘completa’ (e impraticável) do evento.	<i>Para o lançamento oblíquo de um projétil nas proximidades da superfície terrestre, devemos levar em conta os seguintes aspectos: ângulo de lançamento em relação à linha do horizonte; velocidade inicial; força de resistência do ar; formato do projétil; altitude de lançamento; latitude do lançamento; desvio na trajetória em função da força de Coriolis; variação da força da gravidade em função da posição em relação a linha do Equador; e a curvatura terrestre (Gerônimo).</i>
6.b. Explique agora quais as idealizações que devem ser feitas para tratar o evento	<i>Podemos simplificar o lançamento oblíquo de projéteis nas imediações da Terra, levando em consideração o ângulo de</i>

Questão	Respostas
de forma simplificada. Descreva o objeto-modelo resultante.	<i>lançamento, a velocidade inicial, a força da gravidade ser constante e uma pequena distância a fim de considerar como um plano a superfície onde o projétil é lançado (Gerônimo).</i>

Como pode ser observado no Quadro 19, o avanço conceitual dos alunos diz respeito à compreensão do conceito de idealização, cuja importância é fundamental quando se pensa em descrever um fenômeno, uma situação ou um evento físico através de uma representação esquemática, à luz de uma perspectiva teórica.

Pode-se dizer que essa compreensão, por parte dos alunos, parece ter ocorrido após a aula 02 e a realização das tarefas 2 e 3. Isso porque os alunos puderam não só explicitar e compartilhar significados como também tornar operatório o conceito de idealização frente a um conjunto de situações capaz de dar sentido ao mesmo, na medida em que puderam refletir sobre a importância de tal conceito na representação de um fenômeno, evento ou situação real percebida por meio de um fenômeno, evento ou situação idealizada. Em outros termos, se quer dizer que os alunos mobilizaram tanto a forma predicativa quanto operatória de seus conhecimentos acerca das idealizações no contexto da modelagem científica em Física.

Como era de se esperar, esse avanço conceitual também se refletiu na comparação entre os testes de associação escrita de conceitos aplicados no início e no final da disciplina TICs-II em 2009/02, a exemplo do que foi realizado em 2008/02.

O Quadro 20 mostra as cinco primeiras palavras, ordenadas conforme o grau de importância, associadas ao conceito de ‘modelo’, no contexto da Física, no início e no final de TICs-II, por três alunos que, nos testes de associação escrita de conceitos, foram tomados como sendo representativos da turma como um todo.

Como se pode observar, ‘forma’ e ‘padrão’ foram as principais categorias de pensamento associadas pelos alunos ao conceito de ‘modelo’, antes de iniciar a disciplina. Destaca-se, ainda, o fato de que somente um aluno, entre os oito, associava a ideia de ‘representação’ ao conceito de ‘modelo’, nessa época. Contudo, após o final da disciplina, os alunos foram unânimes em associar a ideia de ‘representação’ ao conceito de ‘modelo’, no contexto da Física. Além disso, ‘idealização’, ‘aproximação’, ‘realidade’ e ‘multiplicidade’

também passaram a figurar entre as categorias de pensamento mais associadas pelos alunos ao conceito de ‘modelo’ em Física.

Quadro 21 - Cinco primeiras palavras associadas ao conceito de ‘modelo’ em Física por três alunos representativos da turma de TICs-II, no início e no final do semestre.

Aluno	Teste inicial	Teste final
Gerônimo	<i>Maneira</i>	<i>Representação</i>
	<i>Forma</i>	<i>Computacional</i>
	<i>Descrição</i>	<i>Matemático</i>
	<i>Padrão</i>	<i>Idealização</i>
	<i>Configuração</i>	<i>Definição</i>
Luis Guilherme	<i>Forma</i>	<i>Representação</i>
	<i>Metodologia</i>	<i>Vários</i>
	<i>Exemplo a seguir</i>	<i>Forma</i>
	<i>Padrão</i>	<i>Aproximações</i>
	<i>Exemplo de situação</i>	<i>Realidade</i>
Robson	<i>Representação</i>	<i>Representação</i>
	<i>Padrão</i>	<i>Idealização</i>
	<i>Idealização</i>	<i>Protótipo</i>
	<i>Contextualização</i>	<i>Visualização</i>
	<i>Ideia</i>	<i>Descrição</i>

Na aula 04 a professora ministrou a aula expositivo-dialogada ‘Validação e adequação de modelos teóricos aos dados empíricos’ e, logo após, apresentou o *software Excel* como uma ferramenta para o ajuste de curvas teóricas a dados empíricos. Em seguida, os alunos deram início a uma série de atividades de modelagem, com o *software Excel* e a ferramenta de modelagem e vídeo-análise *Tracker*⁴³, enfatizando a importância dos modelos teóricos na escolha da função matemática que ‘melhor’ ajusta os dados empíricos relativos a um sistema, evento, processo ou fenômeno físico de interesse. Apresentadas na forma das tarefas 4, 5, 6 e 7, essas atividades estenderam-se até a aula 06, quando os alunos realizaram a segunda avaliação individual sobre ajuste de curvas⁴⁴.

Em diferentes momentos ao longo dessa sequência de tarefas ficou evidente a utilização de um esquema de raciocínio, por parte de Alison, Elvis, Luis Guilherme, Gerônimo e Rosária, frente à decisão por uma função de ajuste a um conjunto de dados empíricos, que privilegiava aspectos matemáticos em detrimento de pressupostos fornecidos

⁴³ O *software Tracker* é um programa gratuito para análise de vídeo e construção de modelos concebido no ambiente Java do projeto [Open Source Physics](#) (OSP, Física de Código Aberto). Foi pensado para ser usado no Ensino de Física.

⁴⁴ Como suporte teórico à realização dessas atividades, a professora incentivou os alunos a lerem os textos de Silveira e Ostermann (2002), Medina, Velazco e Salinas (2002) e Steffens (2008) que tratam, respectivamente: da insustentabilidade da proposta indutivista de ‘descobrir a lei a partir de resultados experimentais’, do erro introduzido pelas idealizações no modelo quando se pensa na validação do mesmo e de noções sobre métodos de ajuste de funções.

por um modelo teórico capaz de auxiliar na interpretação física da situação de interesse. A partir dessas evidências se inferiu que na base conceitual desse esquema encontrava-se o seguinte invariante operatório: **a função matemática que ‘melhor’ ajusta um conjunto de dados empíricos é a que minimiza o somatório dos quadrados dos resíduos e que pode ser representada por uma expressão que seja a mais simples ou familiar possível.** Tal invariante operatório parece estar atuando como um obstáculo epistemológico à compreensão acerca da adequação quantitativa de modelos teóricos da Física à realidade (CUDMANI; SANDOVAL, 1991). A seguir são apresentadas duas situações em que esse invariante operatório é utilizado pelos alunos supracitados.

Na Tarefa 4, realizada em dupla e com auxílio do *software Excel*, os alunos tinham que: plotar um gráfico para um conjunto de dados empíricos fornecido pela professora; enunciar um fenômeno físico capaz de ser descrito pelo gráfico do item anterior; optar por uma função de ajuste, explicitando os pressupostos teóricos levados em conta para a sua escolha e utilizando o método dos mínimos quadrados do *software Excel*; plotar o gráfico da função escolhida, explicitando sua forma analítica; associar os parâmetros de ajuste a grandezas físicas adequadas ao fenômeno físico escolhido, especificando suas unidades de medida; e comparar os resultados com a linha de tendência fornecida pelo *software Excel*.

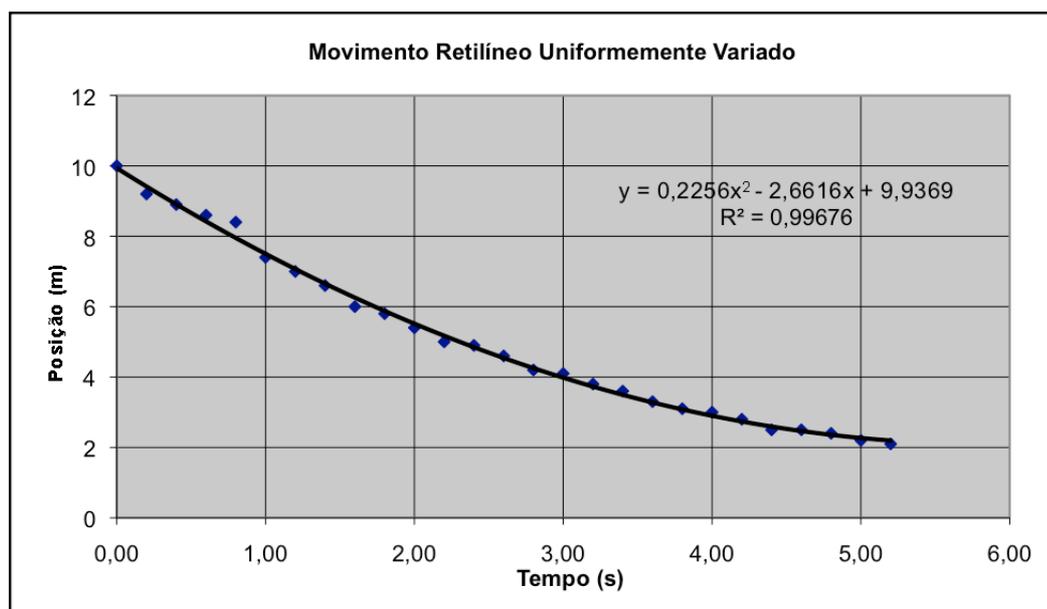


Figura 19 - Função matemática proposta por Gerônimo e Rosária para descrever o movimento uniformemente variado de um objeto.

A Figura 19 apresenta o ajuste proposto por Gerônimo e Rosária na Tarefa 4, com exceção dos pressupostos teóricos assumidos e dos parâmetros associados às grandezas físicas adequadas para a descrição do fenômeno físico escolhido por eles. Segundo Gerônimo e Rosária, o gráfico da Figura 19 refere-se:

... à posição de um objeto que realiza um movimento uniformemente variado, no eixo y , contra o tempo, no eixo x . Os dados experimentais se ajustariam bem tanto a uma função quadrática como a uma função logarítmica. Fazendo o ajuste de curvas para esses dois tipos de função, obtivemos que a soma dos quadrados das distâncias entre os valores experimentais e teóricos (método dos mínimos quadrados) é um pouco menor para uma ajuste quadrático. Portanto, $0,450$ seria a aceleração do corpo em metros por segundo ao quadrado, $-2,661$ seria a velocidade inicial do corpo e $9,9369$ seria a sua posição inicial.

Como se pode constatar, Gerônimo e Rosária optaram por uma função quadrática em detrimento de uma função logarítmica, levando em consideração apenas aspectos matemáticos, deixando a determinação física dos parâmetros que relacionam as variáveis estudadas (posição em função do tempo) em segundo plano. A utilização de tal esquema de raciocínio foi reforçada pelo comentário postado por Gerônimo no *Moodle*, uma semana após ter realizado a Tarefa 4:

Cara professora, ao trabalhar na tarefa 4 cometemos um equívoco ao escolher uma função com R^2 com valor menor. Penso que confundimos com a ideia de tentar conseguir o menor valor no método dos mínimos quadrados e estender este raciocínio para o R^2 . Poderia explicar, novamente, o item R^2 no ajuste dos gráficos?

Na aula 06 os alunos realizaram a segunda avaliação individual na disciplina, composta de duas questões sobre ajuste de curvas a serem realizadas: uma com lápis e papel e a outra no *Excel*.

Na Questão 1, vide Apêndice E, os alunos deveriam indicar e justificar qual das funções um físico elegeria como a melhor candidata a descrever os resultados experimentais apresentados na questão. Alison, Élvís e Luis Guilherme optaram pela função 3 enquanto os demais escolheram a função 2 como aquela que um físico escolheria para ajustar os resultados do experimento (hipotético) em que se deixa uma pequena esfera de aço cair no ar, a partir do repouso, de diversas alturas próximas ao solo e se mede os correspondentes intervalos de tempo de queda. As respostas e justificativas de quatro alunos, duas adequadas e duas inadequadas à descrição do experimento, são mostradas no Quadro 21.

Quadro 22 - Escolhas e justificativas de quatro alunos na Questão 1 da segunda avaliação individual.

Escolha e justificativa da função de ajuste	
Adequadas ao experimento	Inadequadas ao experimento
<p>1.a. A função escolhida é a do ajuste dois, uma função polinomial de ordem dois, pois é a função que se utiliza para o estudo das posições em função do tempo nos movimentos uniformemente acelerados a partir do repouso. Podemos também desconsiderar a força de resistência do ar pela grande diferença de densidade da esfera de aço em relação ao ar e pela baixa velocidade relativa adquirida pela esfera em tão pouco tempo. 1.b. Para a função escolhida, $H=500t^2$, que é uma função do tipo $y=y_0+v_0t+(at^2)/2$, que nesse caso fica $H=H_0+v_0t+500t^2$. Como H_0 é zero e v_0 é zero, o objeto é abandonado da posição inicial zero metros, no tempo zero segundos, com velocidade inicial zero metros por segundo. Sendo H a distância percorrida em metros, e o tempo t em segundos, o valor de 500 é o da aceleração dividido por dois (Gerônimo).</p>	<p>1.a. Dentre as funções apresentadas, a que apresenta um menor erro percentual entre os resultados experimentais e teóricos é a de número 6. Por se tratar de uma função que envolve t na quarta potência sua solução torna-se muito complicada. Tendo em vista a descrição dos dados experimentais e a teoria conhecida sobre queda dos corpos, um físico deveria escolher a função de número 3 para descrever os resultados. 1.b. Para descrever a queda dos corpos sabemos que a função da posição é dada por $y=y_0+v_0t+(gt^2)/2$, onde y é a posição final (cm), y_0 é a posição inicial (cm), v_0 é a velocidade inicial (cm/s) e g é a aceleração da gravidade (cm/s²). Chamando $H=y-y_0$, podemos reescrever $H=(gt^2)/2+v_0t$. Logo, os parâmetros são: 591 o valor da aceleração da gravidade dividida por 2 (cm/s²) e -50 o valor da velocidade inicial (cm/s) (Élvis).</p>
<p>1.a. Observando o somatório dos quadrados do resíduo (SQ), a função que melhor se adapta aos dados experimentais é fornecida pelo ajuste 6. Porém um físico que possui uma carga teórica e é bom conhecedor das Leis de Newton, escolheria como melhor função a obtida no segundo ajuste. A equação é muito semelhante a conhecida $S=S_0+v_0t+(at^2)/2$, onde $S=H$, $S_0=H_0=0$ e $(a/2)=500$. É interessante observar que qualquer função de grau maior do que 2 se ajustaria melhor a esses dados, porém o observador/pesquisador teria que explicar cada um de seus parâmetros. 1.b. A função escolhida foi $H=500t^2$. O parâmetro 500 tem unidade de cm/s² (Rosária).</p>	<p>1.a. Um físico escolheria a função 3, $H=591t^2-50t$ para descrever os resultados experimentais. A escolha é justificada pela facilidade em adequar essa equação ao modelo teórico de movimento retilíneo uniformemente variado, de função $y=y_0+v_0t+(at^2)/2$. Além disso a equação é também mais simples que as equações 4 e 5, que podem representar uma função mais adequada, porém com resíduos de MMQ muito próximos, opta-se por 3. 1.b. H é altura em função do tempo. 591 cm/s² é a metade do valor da aceleração do movimento. -50cm/s é a velocidade quando $t=0$. $y_0=0$ no experimento (Alison).</p>

Como se pode observar, Alison e Élvis optaram por funções matemáticas não condizentes com as condições experimentais, ainda que não tenham levado em conta apenas considerações de natureza matemática na sua escolha. Como a esfera de aço foi abandonada do repouso, sua velocidade inicial deveria ser nula e não poderia assumir um valor diferente de zero. Já Gerônimo e Rosária, nesse momento, parecem ter compreendido que “a decisão por uma função de ajustamento transcende os resultados experimentais, envolvendo considerações teóricas” (SILVEIRA; OSTERMANN, 2002).

Na segunda metade da aula 06, a professora ministrou a aula expositivo-dialogada “Exemplos de atividades de simulação e modelagem computacionais nos modos exploratório

e expressivo⁴⁵. Ao final desse encontro, a professora solicitou aos alunos que realizassem, até a aula da semana seguinte, a Tarefa 8, em duplas.

Nessa tarefa, cada dupla de alunos deveria escolher um dos oito modelos computacionais previamente selecionados pela professora entre os exemplos oferecidos pelo *software Modellus 4.01*. Após explorar o modelo computacional escolhido sob as mais diversas perspectivas, os alunos tinham que identificar os referentes reais, as idealizações assumidas, as variáveis e os parâmetros envolvidos nas relações matemáticas subjacentes ao modelo implementado em computador.

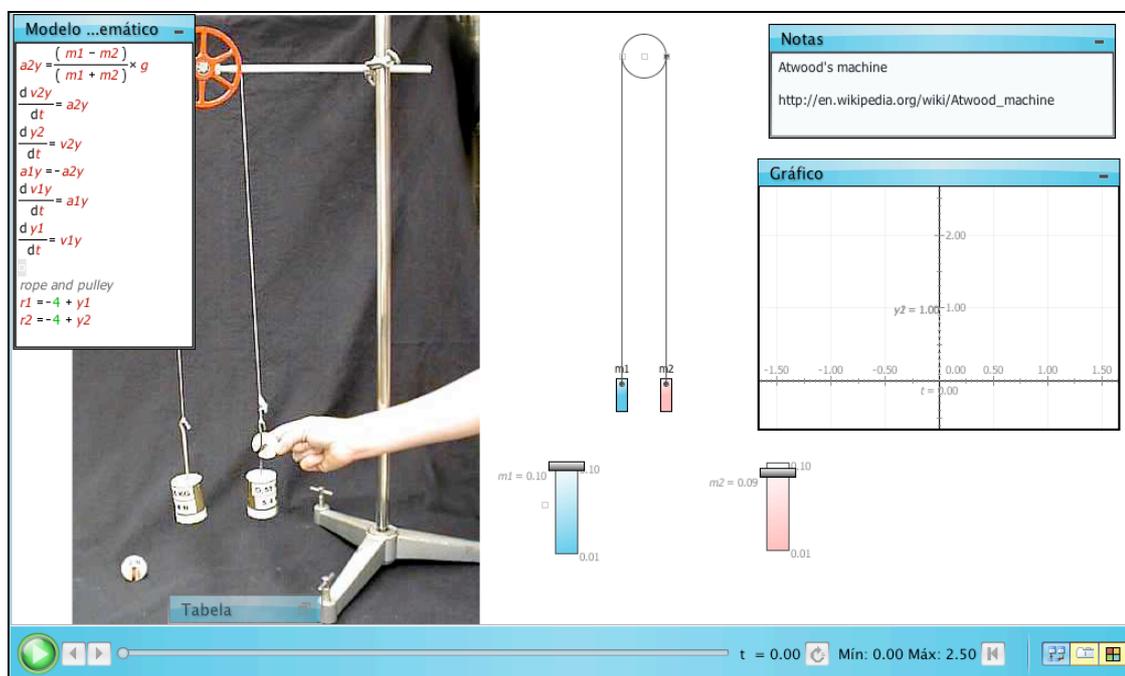


Figura 20 - Modelo computacional explorado por Alison e Robson, na Tarefa 8.

A Figura 20 apresenta a tela inicial do modelo computacional explorado por Alison e Robson na Tarefa 8, intitulado *atwood_machine.modellus*⁴⁶. Já o Quadro 22 apresenta os aspectos conceituais identificados por esses alunos.

⁴⁵Como suporte teórico à realização dessa atividade, a professora incentivou os alunos a lerem os textos escritos por Veit e Araujo (2007a, 2007b) que tratam, respectivamente: de exemplos de aplicativos e de aspectos conceituais envolvidos na modelagem computacional aplicada ao Ensino de Ciências.

⁴⁶ A máquina de Atwood consiste basicamente de dois corpos massivos conectados por um fio que passa por uma polia que pode girar. A descrição desse equipamento, que foi investado por George Atwood (1746-1807) apareceu pela primeira vez em *A Treatise on the Rectilinear Motion and Rotation of Bodies*, publicado em 1784.

Quadro 23 - Aspectos conceituais identificados por Alison e Robson, na Tarefa 8.

Referentes	<i>Blocos de massa m_1 e m_2, fio que une os blocos, roldana e suporte.</i>
Idealizações	<i>Fio inextensível e sem massa, roldana ideal, campo gravitacional uniforme e blocos considerados como partículas.</i>
Variáveis	<i>Massa dos blocos m_1 e m_2 (kg), posição no eixo vertical y (m) e tempo (s).</i>
Parâmetros	<i>Aceleração da gravidade (m/s^2) e aceleração dos blocos (m/s^2).</i>

Como se pode constatar, Alison e Robson apresentaram dificuldades ao identificar os referentes reais do modelo computacional por eles explorado, na medida em que: (i) não apontaram a Terra como tal, apesar de terem considerado a uniformidade do campo gravitacional como uma idealização; e (ii) consideraram o construto ‘massa’ como sendo a matéria da qual os blocos eram feitos.

Também ficou evidente a dificuldade de Alison e Robson em identificar as variáveis e os parâmetros envolvidos nas relações matemáticas subjacentes ao modelo computacional por eles explorado, uma vez que consideraram as massas dos blocos como variáveis, ainda que tenham identificado a aceleração dos mesmos como parâmetro e que a janela ‘Modelo matemático’ estivesse mostrando a dependência da aceleração dos blocos apenas com as massas e o módulo do vetor campo gravitacional.

A Figura 21 apresenta a tela inicial do modelo computacional explorado por Gerônimo e Rosária, na Tarefa 8, intitulado *binary star.modellus*⁴⁷. Enquanto que o Quadro 23 apresenta os aspectos conceituais identificados pelos mesmos.

Quadro 24 - Aspectos conceituais identificados por Gerônimo e Rosária, na Tarefa 8.

Referentes	<i>Duas estrelas que orbitam em torno de um centro de massa comum, formando um sistema de estrelas binário.</i>
Idealizações	<i>A massa das estrelas é constante, ou seja, não há acréscimo ou perda por processos tais como a formação de estrelas ou nebulosas planetárias. Não há massa de acreção entre as estrelas e não há sobreposição de nenhum campo gravitacional externo às estrelas, portanto, a trajetória é circular e estável. As dimensões das estrelas são pequenas comparadas às distâncias entre elas, ou seja, não há força diferencial gravitacional (força de maré).</i>
Variáveis	<i>As variáveis envolvidas são as posições de cada estrela (x, X, y e Y), as velocidades (v_x, VX, v_y, VY), as acelerações (a_x, AX, a_y, AY) e a força aplicada em cada estrela (FX e FY).</i>
Parâmetros	<i>Os parâmetros envolvidos são as massas das estrelas, dadas em quilogramas, e a constante gravitacional G.</i>

Como se pode constatar, Gerônimo e Rosária também apresentaram dificuldades ao identificar os referentes reais do modelo computacional por eles explorado, na medida em que

⁴⁷ Estrela binária é um sistema estelar constituído por duas estrelas orbitando um baricentro comum.

apontaram o construto ‘centro de massa’ como algo concreto que une as duas estrelas para formar um sistema de dois corpos.

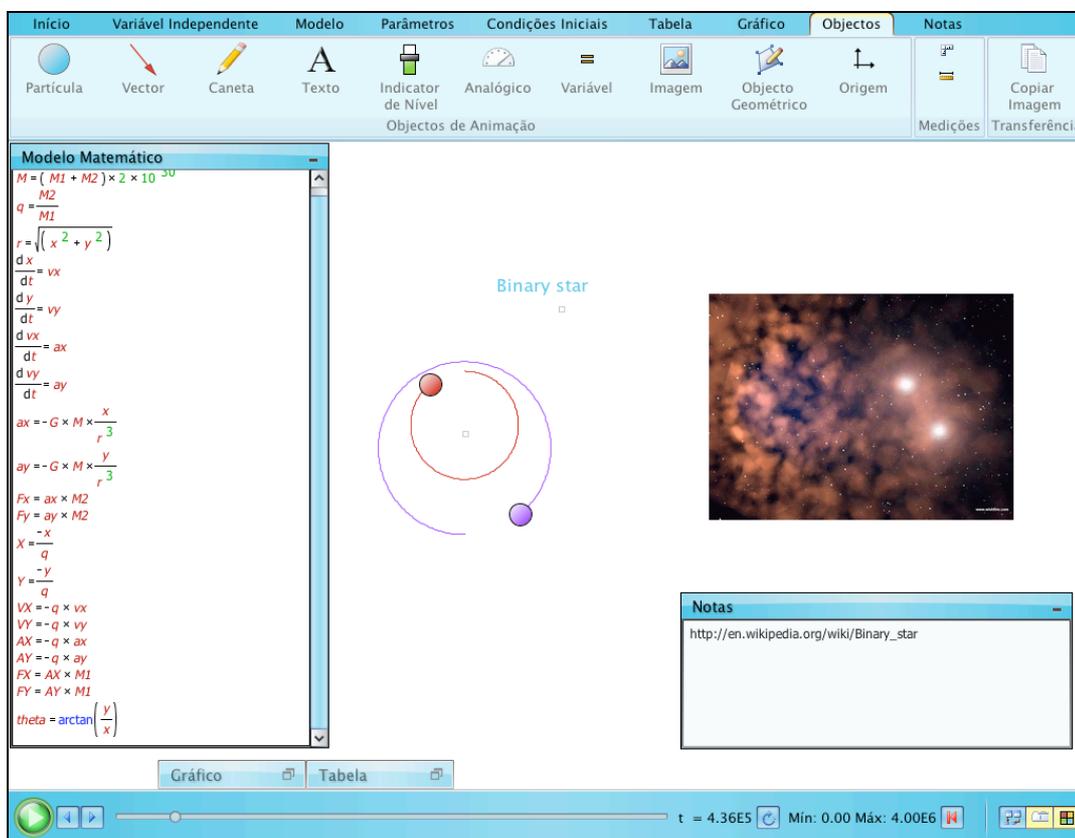


Figura 21 - Modelo computacional explorado por Gerônimo e Rosária, na Tarefa 8.

Em relação aos outros aspectos conceituais, Gerônimo e Rosária não demonstraram ter enfrentado dificuldades. O mesmo não pode ser dito de Élvis e Luis Guilherme e de Gilson e Luis Pedro que, contrariamente a Gerônimo e Rosária, souberam identificar adequadamente os referentes reais do modelo computacional por eles explorado, mas não o fizeram assim para os demais aspectos conceituais.

A Figura 22 apresenta a tela inicial do modelo computacional explorado por Élvis e Luis Guilherme na Tarefa 8, intitulado *parachutist, before and after open of the parachute.modellus*⁴⁸. Já o Quadro 24 apresenta os aspectos conceituais identificados pela dupla.

⁴⁸ Esse modelo computacional simula o movimento de queda de um paraquedista antes e depois de abrir o seu paraquedas a certa altura da superfície da Terra.

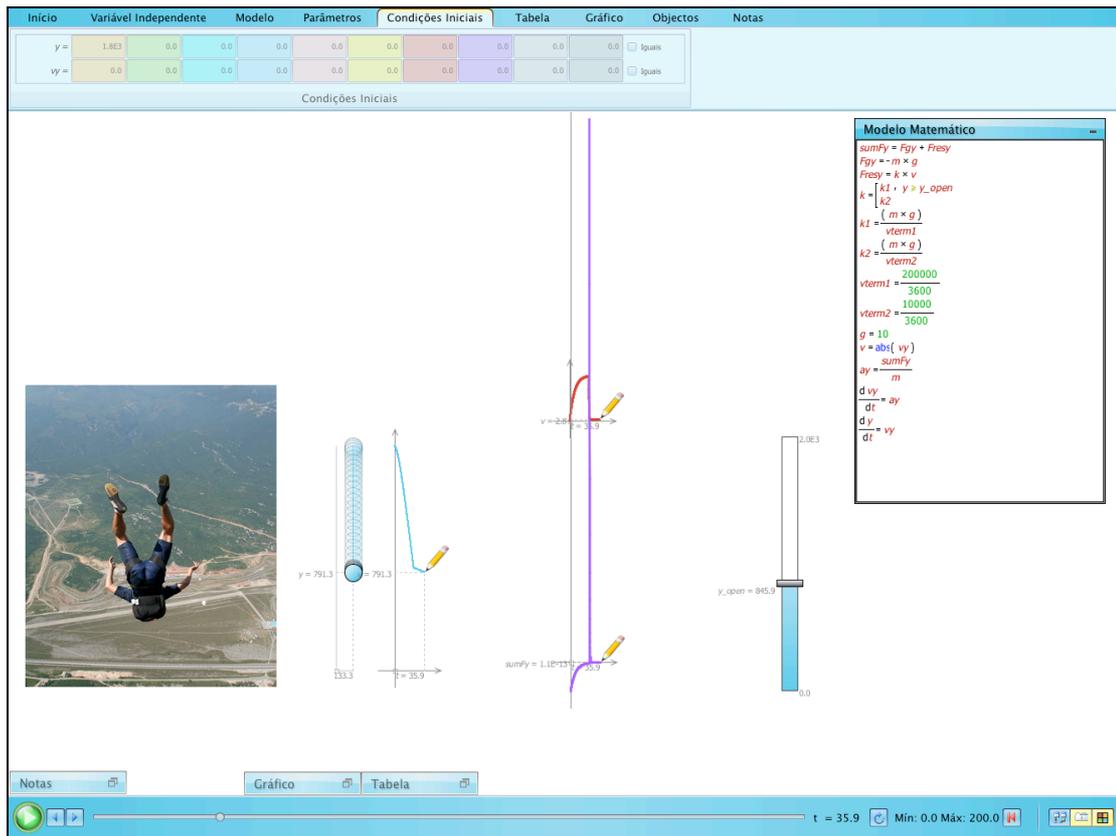


Figura 22 - Modelo computacional explorado por Élvís e Luis Guilherme, na Tarefa 8.

Quadro 25 - Aspectos conceituais identificados por Élvís e Luis Guilherme, na Tarefa 8.

Referentes	<i>O paraquedista, o paraquedas, o ar atmosférico e a Terra.</i>
Idealizações	<i>O movimento é unidimensional, a aceleração da gravidade é constante e vale 10 m/s^2.</i>
Variáveis	<i>Tempo e altura em que o paraquedas é aberto.</i>
Parâmetros	<i>Massa do paraquedista (kg), aceleração da gravidade (m/s^2).</i>

Como se pode constatar, Élvís e Luis Guilherme apresentaram dificuldades em identificar as variáveis envolvidas nas relações matemáticas subjacentes ao modelo computacional por eles explorado, na medida em que: (i) consideraram a altura em que o paraquedas é aberto como uma variável, quando na verdade y_{open} é apenas um parâmetro que pode ser facilmente alterado com a barra de rolagem mostrada em azul na Figura 22, possibilitando uma maior interatividade entre o sujeito e o modelo computacional; e (ii) deixaram de considerar a velocidade e a aceleração do paraquedista como variáveis.

Já Gilson e Luis Pedro exploraram o modelo computacional intitulado *moon orbiting around the earth.modellus*⁴⁹, cuja tela inicial é mostrada na Figura 23. O Quadro 25 apresenta os aspectos conceituais identificados pelos mesmos.

⁴⁹ Esse modelo computacional simula o movimento de rotação da Lua ao redor da Terra.

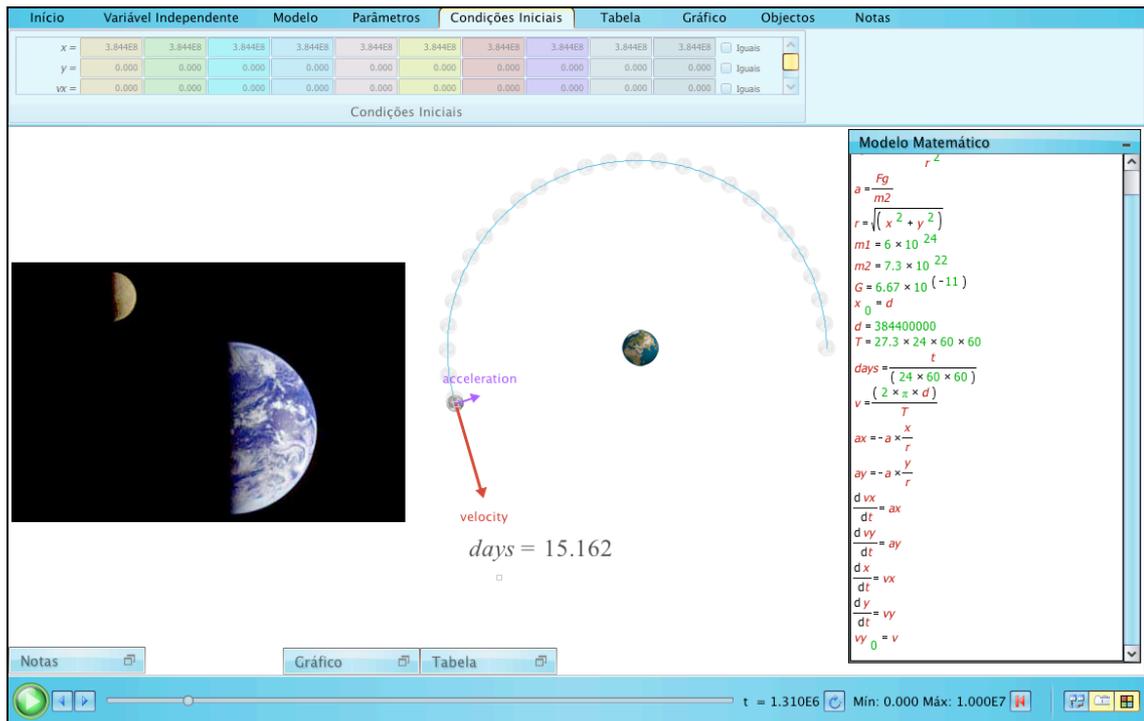


Figura 23 - Modelo computacional explorado por Gilson e Luis Pedro, na Tarefa 8.

Quadro 26 - Aspectos conceituais identificados por Gilson e Luis Pedro, na Tarefa 8.

Referentes	<i>Terra e Lua.</i>
Idealizações	<i>A órbita da Lua é uma circunferência. Não é considerado o movimento de translação da Terra. Não é considerado o movimento de rotação da Terra. São consideradas somente as forças de interação entre a Terra e a Lua.</i>
Variáveis	<i>Velocidade da Lua, aceleração da Lua e tempo.</i>
Parâmetros	<i>Constante gravitacional, massa da Terra, massa da Lua, distância da Terra à Lua, período do movimento da Lua.</i>

Como se pode constatar, Gilson e Luis Pedro, apresentaram dificuldades em identificar as variáveis envolvidas nas relações matemáticas subjacentes ao modelo computacional por eles explorado, na medida em que não consideraram a posição da Lua como uma variável.

Como já foi dito anteriormente, mas agora em outros termos, acredita-se que essas dificuldades se devem à falta de invariantes operatórios ‘de referência’ que precisariam estar entre os ingredientes essenciais dos esquemas de pensamento dos alunos para lidar com situações para as quais seja de fundamental importância: (i) determinar o sistema físico de interesse, incluindo não só os objetos que o constituem como também os agentes externos que com ele interagem; e (ii) diferenciar os objetos reais, ou supostos como tais, que compõem o sistema físico a ser estudado e sua vizinhança, das grandezas físicas que descrevem suas propriedades, estrutura, estados, interações, etc. Como apontam Islas e Pesa (2002), tais

dificuldades tendem a se acentuar na medida em que a porção de realidade a ser representada se constitui por entidades cada vez menos acessíveis à percepção.

Na aula 07, a professora proferiu a aula expositivo-dialogada “Diagrama AVM: um instrumento heurístico para aprendizagem em Ciências através de atividades de simulação e modelagem computacionais”⁵⁰. A partir desse encontro, os alunos passaram a realizar todas atividades de modelagem computacional, exploratórias ou expressivas, com auxílio do diagrama AVM (dAVM).

Nas atividades de simulação ou modelagem computacionais do tipo exploratórias, apresentadas na forma das tarefas 9, 10 e 11, os alunos exploraram e buscaram validar, sob as mais diversas perspectivas, simulações ou modelos computacionais não construídos por eles. Nas atividades de modelagem computacionais do tipo expressivas, apresentadas na forma das tarefas 12 e 13, os alunos passaram a construir e validar seus próprios modelos, desde as representações matemática e icônica até a análise da razoabilidade dos resultados obtidos com a implementação computacional do modelo didático-científico subjacente.

Com base nas observações dos alunos realizando essas atividades e nas gravações em áudio das apresentações dos respectivos dAVMs aos colegas foi possível obter outras evidências acerca das dificuldades e dos avanços no processo de conceitualização do real, bem como dos esquemas de pensamento, e invariantes operatórios, utilizados pelos mesmos na exploração, criação e validação de modelos computacionais no *software Modellus*, nas versões 2.5 e 4.01.

Os Quadros E.2, E.3, E.4 e E.5, do Apêndice E, sintetizam os principais aspectos conceituais explicitados nos dAVMs, por cada dupla de alunos, nas tarefas 9, 10, 11, 12 e 13 e que foram objeto de análise do autor.

Na Tarefa 9, os alunos tinham que construir e apresentar, em dupla, o dAVM da atividade de modelagem computacional exploratória realizada na Tarefa 8. A Tarefa 9 foi

⁵⁰ Como suporte teórico à realização das atividades de modelagem propostas do sétimo encontro em diante, a professora incentivou os alunos a lerem o texto de Araujo, Veit e Moreira (2006). Esse texto apresenta o diagrama AVM como um instrumento heurístico que visa promover uma ação reflexiva daquele que realiza uma atividade de modelagem exploratória ou expressiva acerca dos domínios conceitual e metodológico do ‘modelo didático-científico’ explorado ou implementado no *software Modellus 4.01*.

proposta pela professora com objetivo de facilitar a construção do primeiro dAVM da disciplina pelos alunos, tendo em vista que eles já haviam identificado alguns aspectos conceituais subjacentes ao modelo computacional explorado na Tarefa 8.

Na Tarefa 10, os alunos tinham que construir e apresentar, individualmente, o segundo dAVM da disciplina, relativo a uma simulação computacional disponível na *Internet* ou a um modelo computacional oferecido como exemplo pelo *software Modellus*, nas versões 2.5 ou 4.01, de livre escolha.

Esses dois primeiros dAVMs foram construídos de maneira *pro forma* pelos alunos, apenas para cumprir uma formalidade exigida pela disciplina, sem maior significado. Prova disso são os aspectos conceituais explicitados, ou a falta desses, pelos alunos nos campos relativos: (i) ao centro do dAVM, em que constam o fenômeno de interesse, as questões-foco e a situação-problema; (ii) aos ‘referentes reais’, às ‘idealizações e aproximações’, aos ‘resultados conhecidos’ e às ‘predições’, pertencentes ao domínio conceitual do dAVM; e (iii) à ‘validação do modelo computacional’ e às ‘resposta(s) à(s) questão(ões)-foco’, pertencentes ao domínio metodológico do dAVM.

Em relação à(s) ‘questão(ões)-foco’ e à ‘situação-problema’, que deveriam contextualizar o fenômeno de interesse da atividade de modelagem computacional e, portanto, dizer respeito a uma situação real, ou suposta como tal, é preciso chamar a atenção para o seguinte fato. Ao menos em uma dessas duas tarefas (9 e 10), quatro (Alison, Robson, Élvís e Luis Pedro) dos oito alunos incluíram entidades ideais na formulação das questões-foco ou na descrição da situação-problema. Tal fato evidencia o uso de esquemas de raciocínio, por parte desses alunos, que estão associados a situações prototípicas, completamente idealizadas, costumeiramente tratadas em sala de aula e que permanecem distantes daquelas vivenciadas no cotidiano, tal como foi alertado na introdução desse trabalho.

Em relação aos ‘referentes reais’ e às ‘idealizações e aproximações’ assumidas pelos modelos computacionais da Tarefa 10⁵¹, ressalta-se o uso por parte de Luis Pedro, do invariante operatório, detectado no Estudo IV, que diz respeito à: **necessidade de idealizar**

⁵¹ Os aspectos conceituais identificados pelos alunos na Tarefa 9, relacionados aos referentes reais e às idealizações e aproximações, já foram apresentados e discutidos quando se analisou as suas respostas na Tarefa 8, tendo em vista que o objetivo na Tarefa 9 era construir um dAVM para a atividade de modelagem exploratória realizada na Tarefa 8.

ao máximo a situação física de interesse, a fim de tratá-la da forma mais esquemática possível, independentemente da perspectiva teórica sob a qual a situação esteja sendo abordada.

A Figura 24 mostra de forma clara que o modelo computacional explorado por Luis Pedro, na Tarefa 10, é sobre a descrição cinemática de uma situação completamente idealizada: o movimento uniformemente acelerado de um objeto representado pictoricamente por um dinossauro movendo-se horizontalmente.

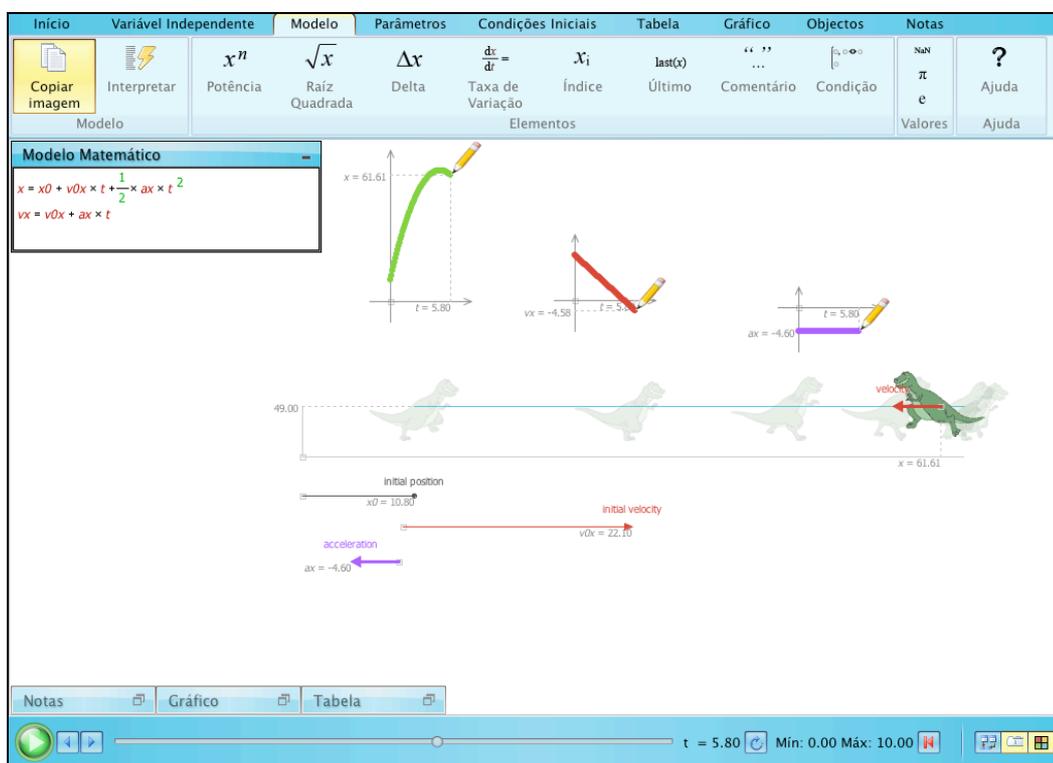


Figura 24 - Modelo computacional explorado por Luis Pedro, na Tarefa 10.

No entanto, Luis Pedro identificou: (i) as leis de Newton e da gravitação como as envolvidas na construção do modelo computacional; (ii) o dinossauro e o solo como os referentes reais; e (iii) a ausência de resistência do ar e de atrito com o solo como as idealizações/aproximações assumidas pelo construtor desse modelo. Ou seja, o aluno fez uso de um esquema de raciocínio que introduziu uma entidade real (solo) para, em seguida, desconsiderar a sua influência (atrito entre objeto e solo) na descrição da situação física de interesse. Adicionalmente, Luis Pedro despreza a força de resistência do ar, a fim de simplificar ao máximo a descrição da situação, quando sequer faz sentido falar de ‘força’,

haja vista que se trata da representação do movimento de um objeto sob a perspectiva da Cinemática.

Esse mesmo esquema de raciocínio também foi adotado por Élvis, na Tarefa 10. Ao identificar uma superfície plana, que não é representada no modelo computacional, como um referente real do mesmo, Élvis demonstra a necessidade de introduzir uma entidade real para em seguida justificar a ausência de atrito entre a superfície e o carro (que representa pictoricamente o objeto em movimento) como uma idealização assumida pelo modelo computacional. Cabe ressaltar que nenhum outro alunos demonstrou ter utilizado tal esquema de raciocínio, nesta tarefa.

Em relação aos ‘resultados conhecidos’, às ‘predições’ e à ‘validação do modelo computacional’, nas tarefas 9 e 10, destaca-se que nenhum aluno foi capaz de explicitar quais foram as comparações estabelecidas entre os aspectos conceituais por eles identificados nos dois primeiros campos e os resultados obtidos com o modelo computacional, a fim de verificar possíveis fontes de erro ou eventuais discordâncias entre os mesmos. Tal fato evidencia, como se verá a seguir, na Tarefa 11, a presença de um invariante operatório que parece estar atuando como obstáculo epistemológico à análise da razoabilidade dos resultados obtidos com os modelos computacionais em atividades exploratórias.

Como já foi dito, modelos didático-científicos podem ser entendidos como versões didáticas de modelos aceitos por uma comunidade científica. Por sua vez, modelos computacionais com fins didáticos podem ser entendidos como versões computacionais de modelos didático-científicos. Logo, os resultados obtidos por esses modelos computacionais devem necessariamente reproduzir os resultados previstos pelos modelos didático-científicos a eles subjacentes. Evidentemente, isso não quer dizer que os modelos computacionais estejam validados.

Na validação de modelos computacionais explorados e/ou construídos com fins didáticos deve-se estar atento às seguintes possibilidades: (i) o modelo computacional pode não representar adequadamente a situação física de interesse, pois é o modelo didático-científico subjacente que não o faz; ou (ii) o modelo didático-científico, apesar de representar adequadamente a situação física de interesse, pode ser mal implementado em computador. Em ambos os casos, resultam modelos computacionais que possuem erros e, por consequência,

não representam de maneira adequada a situação física de interesse, seja por questões de implementação computacional, seja por estarem baseados em pressupostos teóricos inadequados. Por fim, pode-se ter, como é o esperado, modelos computacionais com fins didáticos que representam adequadamente a situação física de interesse, na medida em que apoiam-se em modelos didático-científicos implementados corretamente e cientificamente aceitos.

Tendo em vista as possíveis fontes de erro que podem estar presentes na concepção e/ou implementação de uma simulação ou modelo computacional, trabalhar com atividades de modelagem computacionais exploratórias em que se introduz algum tipo de erro, de forma deliberada, pode se constituir numa estratégia de ensino valiosa, especialmente quando se pensa em mobilizar concepções e competências relativas à validação dos resultados obtidos com simulações ou modelos computacionais.

De modo geral, nem os estudantes, quando constroem seus próprios modelos, nem os professores, quando utilizam simulações computacionais no ensino de algum conteúdo, costumam realizar testes ou analisar a razoabilidade dos resultados obtidos com os modelos de que fazem uso.

Na Tarefa 11, cada dupla de alunos tinha que explorar e validar um modelo computacional construído pela professora no *software Modellus 2.5*, com o auxílio do dAVM. Posteriormente, cada dupla deveria apresentar e discutir o seu dAVM com os demais colegas. Entretanto, o modelo computacional que a professora de TICs-II forneceu a cada uma das quatro duplas continha um erro proposital.

A Figura 25 mostra o modelo computacional explorado por Alison e Robson, na Tarefa 11, que simulava o salto de um paraquedista. O erro introduzido propositalmente estava associado ao fato de que o paraquedas continuava abrindo e provocando uma variação abrupta na velocidade do paraquedista durante a sua queda, mesmo quando se anulava o coeficiente associado à resistência do ar.

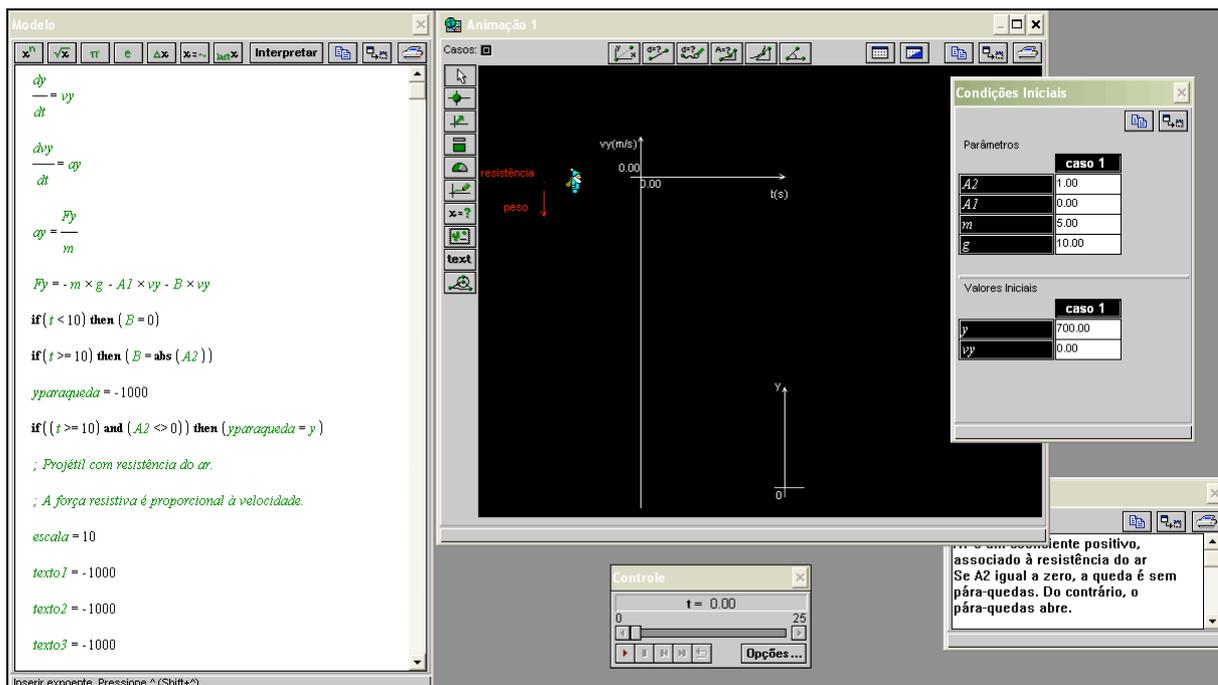


Figura 25 - Modelo computacional explorado por Alison e Robson, na Tarefa 11.

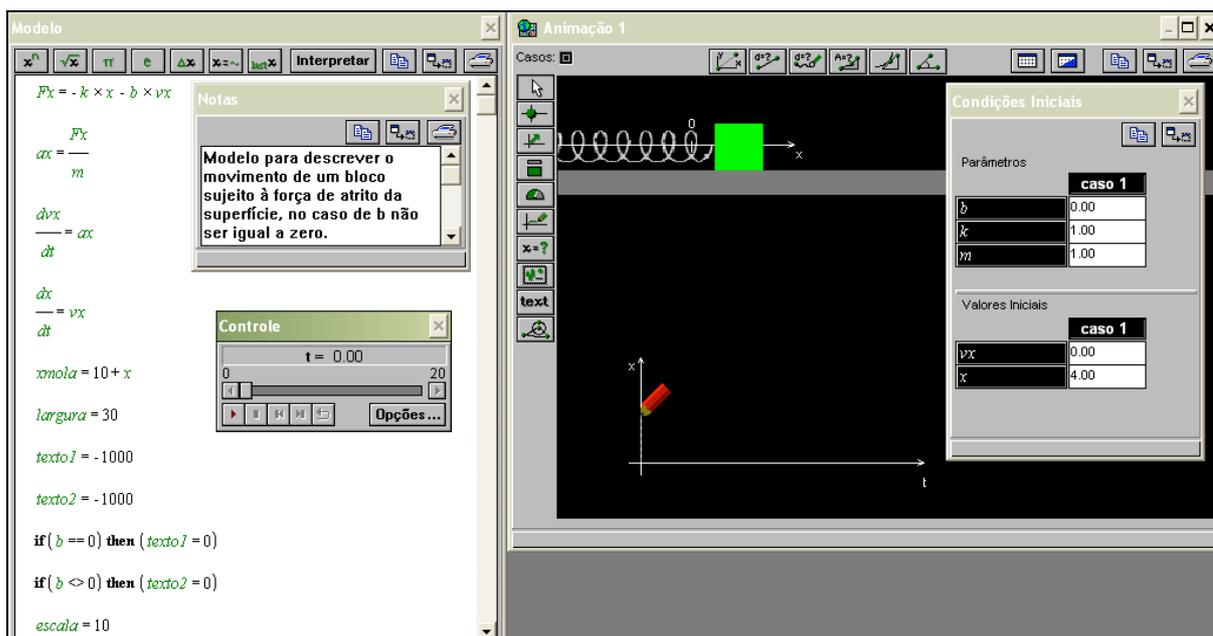


Figura 26 - Modelo computacional explorado por Élvis e Luis Guilherme, na Tarefa 11.

A Figura 26 mostra o modelo computacional explorado por Élvis e Luis Guilherme, que simulava o movimento de um bloco sujeito à força de atrito da superfície sobre a qual ele oscilava preso a uma mola, como indicado na janela ‘Notas’. O erro introduzido propositalmente estava associado ao fato de que o modelo matemático subjacente à animação representava, na verdade, uma situação em que havia força de resistência do ar e não de atrito com a superfície, como mostrava a janela ‘Modelo’.

A Figura 27 mostra o modelo computacional explorado por Gerônimo e Rosária, na Tarefa 11, que simulava o movimento de um pêndulo simples. O erro (de concepção) introduzido propositalmente estava associado ao fato de que o modelo matemático subjacente à animação contemplava somente o caso em o comprimento do fio era igual a unidade, haja vista que a expressão para a aceleração angular do corpo preso ao fio era: $\alpha = -g \times \sin(\theta)$, em vez da expressão correta $\alpha = -\frac{g}{l} \times \sin(\theta)$.

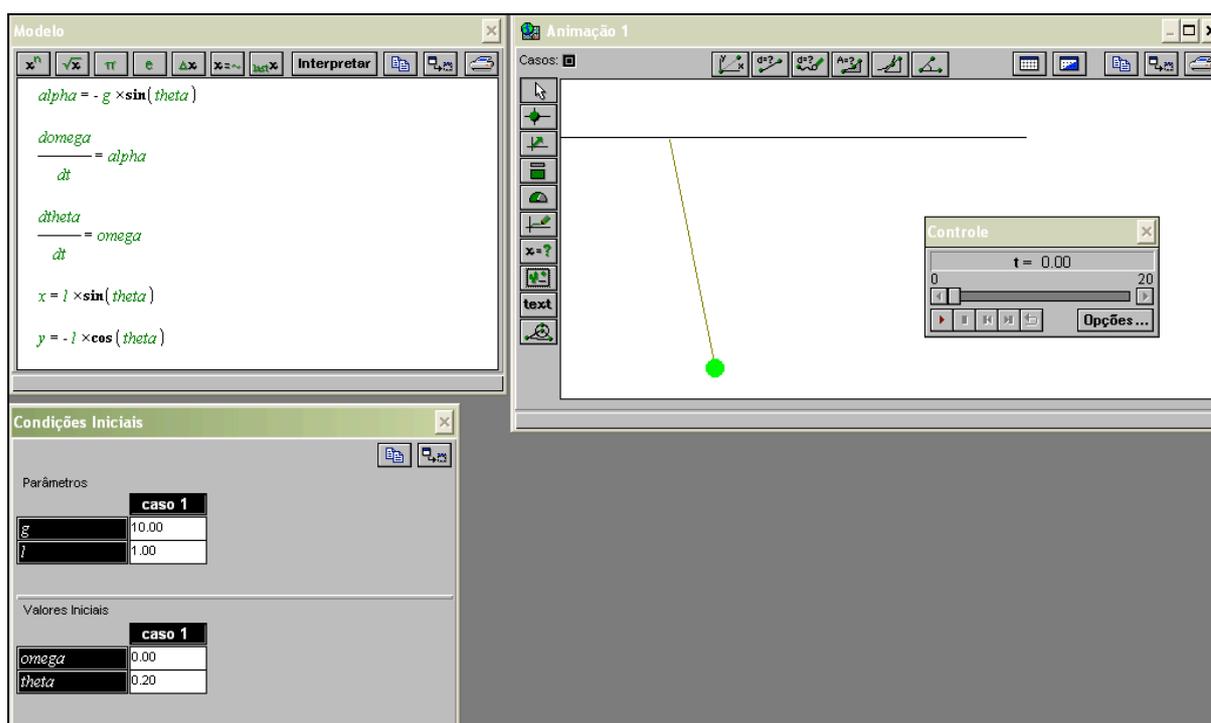


Figura 27 - Modelo computacional explorado por Gerônimo e Rosária, na Tarefa 11.

Já a Figura 28 mostra o modelo computacional explorado por Gilson e Luis Pedro, na Tarefa 11, que simulava o lançamento vertical de um objeto. O erro introduzido propositalmente estava associado ao fato de que a força de resistência do ar era exercida contrariamente ao movimento do objeto, na subida, mas a seu favor, na descida, acelerando-o em vez de frená-lo. Ou seja, a expressão estava escrita na forma $F_y = -m \times g - b \times v_y^2$ em vez do modo correto $F_y = -m \times g - b \times v_y^2 \times \frac{v_y}{|v_y|}$.

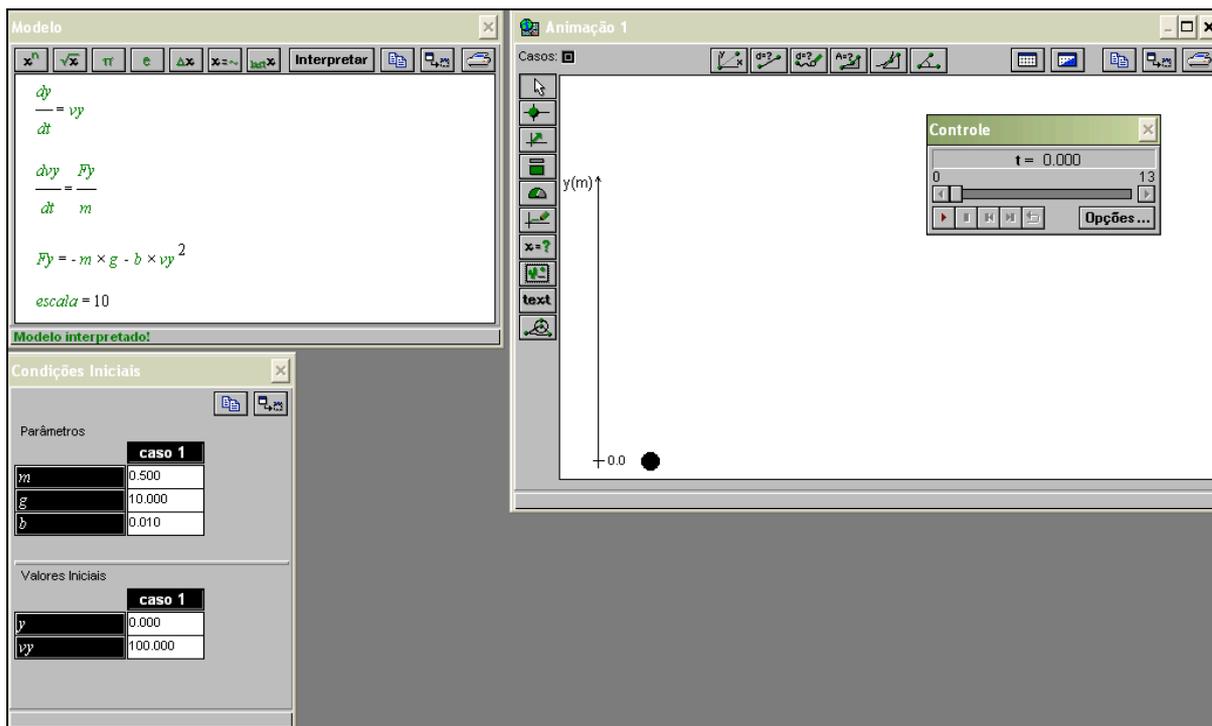


Figura 28 - Modelo computacional explorado por Gilson e Luis Pedro, na Tarefa 11.

Uma rápida inspeção na quinta coluna de quadro do Apêndice E, relativas à Tarefa 11, permite ao leitor constatar que os alunos não foram capazes de adotar procedimentos para submeter os modelos computacionais por eles explorados a testes robustos, na tentativa de validá-los. Mesmo Gerônimo e Rosária, que submeteram o modelo do pêndulo a um simples teste (para $g = 0$, não há oscilação), demonstraram, com isso, estar fazendo uso de um invariante operatório, já inferido no Estudo IV, que parece estar atuando como obstáculo epistemológico à análise da razoabilidade dos resultados obtidos pelos modelos computacionais: **o pressuposto de que as simulações ou modelos computacionais estão corretos e não precisam ser submetidos a testes capazes de identificar eventuais fontes de erro e/ou limites de validade.**

Contudo, após terem explorado modelos computacionais com erros, sem ter identificados as suas causas, os alunos passaram a apresentar uma atitude mais crítica e reflexiva acerca do processo de validação de modelos computacionais. Adicionalmente, à medida que seguiram apresentando e discutindo os dAVMs correspondentes às atividades de modelagem computacional expressivas, os alunos iniciaram um processo gradual de conscientização de que o instrumento dAVM, de fato, era capaz de auxiliá-los na exploração e/ou criação, validação e revisão de seus modelos computacionais. Tal processo de conscientização foi acompanhado por um avanço na conceitualização das situações físicas

sobre as quais os modelos computacionais versavam, que se traduziu na riqueza de informações contidas nos vários campos dos dAVMs e suas interações, nas Tarefas 12 e 13.

Exemplos de tais avanços podem ser facilmente atestados pela análise dos aspectos conceituais explicitados, nas tarefas 12 e 13, em relação aos campos: (i) do centro do dAVM, em que constam o fenômeno de interesse, as questões-foco e a situação-problema; (ii) dos ‘referentes reais’, das ‘idealizações e aproximações’, dos ‘resultados conhecidos’ e das ‘predições’, pertencentes ao domínio conceitual do dAVM; e (iii) da ‘validação do modelo computacional’, das ‘resposta(s) à(s) questão(ões)-foco’ e das ‘possíveis generalizações e expansões do modelo computacional’, pertencentes ao domínio metodológico do dAVM.

Em relação ao centro dos dAVMs construídos nessas últimas duas tarefas, destaca-se o fato de que todos os alunos passaram a construir modelos computacionais que tinham como objetivo representar situações-problema mais realísticas, tais como: o movimento de uma bola de sinuca após uma tacada (Alison e Robson), o movimento da bola de futebol chutada por Pelé em um jogo válido pela Copa do Mundo de 1970 (Élvis e Luis Guilherme), o movimento de um foguete lançado a uma certa altura da superfície da Terra (Gerônimo e Rosária) e o comportamento de circuitos elétricos mistos utilizados em residências (Gilson e Luis Pedro). A exceção ficou por conta da situação-problema e das questões-foco formuladas por Gilson e Luis Pedro, na Tarefa 12, como se pode constatar na sexta coluna do Quadro E.5.

Cabe ressaltar também que em todos os dAVMs construídos pelos alunos nas tarefas 12 e 13, os referentes reais e as idealizações e aproximações assumidas pelos modelos computacionais passaram a ser identificados adequadamente. A exceção foi, novamente, Gilson e Luis Pedro, na Tarefa 12, que identificaram uma ‘partícula’ como referente real do modelo computacional por eles concebido. Aqui cabe chamar a atenção do leitor para o seguinte fato. O referente direto de todo o modelo didático-científico, esteja ou não implementado em computador, é o objeto-modelo (ou modelo conceitual) que lhe deu origem. No entanto, na medida em que esse modelo didático-científico é utilizado para representar uma situação real, ou suposta como tal, ele passa a ter referentes reais, ou seja, objetos do mundo real sobre os quais ele pretende versar. Foi nesse sentido que a professora de TICs-II sempre insistiu com os seus alunos.

Em relação aos demais campos supracitados dos dAVMs construídos pelos alunos nas tarefas 12 e 13, chama-se a atenção do leitor para os seguintes fatos: (i) a tentativa de estabelecer uma comparação entre os campos ‘resultados conhecidos’ e ‘validação do modelo computacional’, a fim de testar alguns aspectos dos modelos; (ii) a preocupação com a busca por respostas mais objetivas e específicas às questões-foco inicialmente formuladas; e (iii) a explicitação de aspectos conceituais que poderiam ser levados em conta em possíveis generalizações e/ou expansões dos modelos computacionais, evidenciando uma consciência acerca das limitações de tais modelos computacionais.

No próximo capítulo, reservado às conclusões, discutir-se-ão as implicações deste trabalho para o Ensino de Física e a pesquisa nessa área.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho de pesquisa iniciou no mestrado e está sendo concluído no doutorado. Ambos os cursos foram realizados pelo autor no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnsFis), oferecido pelo IF-UFRGS. Dos cinco estudos que foram apresentados somente o primeiro foi realizado no mestrado.

Dentre as diversas áreas de concentração nas quais os pesquisadores e estudantes de pós-graduação têm atuado no PPGEnsFis, uma diz respeito à área das Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física na Educação Básica e Superior, que possui como uma de suas linhas de pesquisa a modelagem computacional. Foi nessa linha que o presente trabalho pretendeu dar sua contribuição ao construir um referencial teórico que pode abarcar os referenciais de trabalho que já foram e estão sendo desenvolvidos pelos pesquisadores e estudantes de pós-graduação do PPGEnsFis que se dedicam à linha de pesquisa da modelagem computacional aplicada ao Ensino de Física.

A motivação do autor para a realização desse trabalho residiu no fato de que estratégias didáticas embasadas em diferentes perspectivas teórico-epistemológicas acerca do processo de modelagem científica têm contribuído de forma alternativa na busca por soluções de problemas que há muito persistem no ensino e nas aprendizagens ‘da’ Física, ‘sobre’ Física e ‘do fazer’ Física.

Do ponto de vista do autor, as contribuições de tais estratégias se devem aos fatos de que o processo de modelagem científica: (i) permeia todos os campos conceituais da Física; (ii) apresenta especificidades de uma ciência fatural para outra que devem ser levadas em conta; e (iii) requer a mobilização, por parte do sujeito nele envolvido, de concepções e competências associadas não só a conceitos científicos, que se constituem em conhecimentos de primeira ordem acerca da natureza, como também a conceitos associados à noção de modelo científico (como, por exemplo, idealização, aproximação, referente, domínio de validade, grau de precisão, etc.), que podem ser entendidos como conhecimentos de segunda ordem acerca da natureza.

Em outros termos, pode-se pensar que o processo de conceitualização do real em Física envolve, necessariamente, conhecimentos acerca do processo de modelagem científica. A tal ponto, como defendido ao longo desse trabalho, ser útil falar-se no campo conceitual da modelagem didático-científica em Física, quando se pensa na sua aprendizagem, por parte de professores do Ensino Médio, com vistas à sua transposição didática para estudantes da Educação Básica.

Porém, como se pôde constatar na revisão da literatura sobre o tema, estudos sobre os conhecimentos de estudantes e professores de Física da Educação Básica, em modelagem científica, têm demonstrado que tanto aqueles quanto esses não costumam refletir sobre a natureza, a construção, a validação e a revisão de modelos científicos no contexto educacional.

Frente a essa problemática e tendo em vista a complexidade da atividade de modelagem científica em Física com fins didáticos, que se reflete na diversidade de concepções e competências associadas a uma infinidade de conceitos e situações necessárias ao seu domínio é de supor-se que a sua aprendizagem seja um processo de larga duração. Tal suposição nos remeteu para a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (1990, 1993) e culminou com a proposição de que a modelagem científica pode ser vista como um campo conceitual subjacente ao domínio de campos conceituais específicos da Física.

Segundo Vergnaud (1988), a investigação de um campo conceitual deve iniciar com a identificação e a classificação de situações potencialmente capazes de dar sentido aos conceitos que se pretende que os sujeitos dominem e que, conseqüentemente, possam facilitar o desenvolvimento cognitivo a partir do processo de conceitualização do real (VERGNAUD, 1996).

Nesse sentido, o Estudo I teve como objetivo identificar concepções e dificuldades dos professores de Física do Ensino médio no enfrentamento de situações apresentadas na forma de tarefas enfocando os aspectos conceituais associados à noção de modelo científico em Física, mencionados acima. Tal estudo constituiu-se na primeira aproximação ao estudo do campo conceitual da modelagem científica em Física.

Os principais resultados do Estudo I dizem respeito ao enriquecimento das concepções dos professores sobre modelos e modelagem científica em Física. Tal enriquecimento deveu-se à utilização da estratégia de ensino que buscou favorecer o desenvolvimento de concepções e competências associadas à natureza, à construção, à validação, à exploração e à revisão de modelos didático-científicos, através da inserção de noções epistemológicas contemporâneas, imbricadas com a discussão dos conteúdos disciplinares neles envolvidos.

Cabe ressaltar que o enfoque da estratégia esteve nos aspectos conceituais subjacentes à modelagem de situações em Física, e não propriamente em um conjunto de modelos científicos, haja vista que o seu objetivo não foi transformar estudantes e professores de Física da Educação Básica em *experts* em modelagem científica de algum campo conceitual específico da Física. Se trata de auxiliá-los na compreensão de conceitos estruturantes do processo de modelagem científica que perpassam todas as áreas de conhecimento da Física.

Em relação às dificuldades de conceitualização da noção de modelo científico, por parte dos professores de Física, destacam-se aquelas associadas às diferenças e relações que precisam ser estabelecidas entre os seus atributos, tais como: (i) referentes, variáveis, parâmetros, idealizações e aproximações envolvidas na construção de modelos; e (ii) o domínio de validade e o grau de precisão dos resultados com eles obtidos, na sua validação.

Do ponto de vista da TCC, esses resultados foram importantes, na medida em que as concepções e dificuldades dos professores na conceitualização do real no processo de modelagem científica em Física podem ser entendidas: por um lado, como precursoras para a aquisição de conhecimentos para lidar com situações cada vez mais complexas de modelagem em Física; e, por outro lado, como obstáculos epistemológicos à construção de significados e conceitos cientificamente aceitos. Por isso, elas precisam ser identificadas, explicitadas e trabalhadas em diferentes situações de ensino.

Seguindo na mesma linha de raciocínio, o Estudo II teve como objetivo conceber e validar um questionário do tipo Likert para investigar concepções de professores sobre a natureza, construção e validação do conhecimento científico, com ênfase no papel dos modelos científicos no contexto da Física.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação do questionário, realizou-se duas análises fatoriais independentes com as respostas de 218 sujeitos às afirmações sobre a Ciência em geral e sobre os modelos e a modelagem científica em Física. Com base nessas análises, foram encontrados dois fatores em cada grupo de afirmações.

Posteriormente, o estudo de correlação entre os quatro fatores mostrou que as concepções sobre Ciência em geral estão fortemente relacionadas às concepções sobre modelos e modelagem científica no contexto da Física. Esse resultado é importante, pois sugere que estratégias didáticas baseadas em elementos presentes no processo de modelagem científica podem servir como ponto de partida para uma compreensão adequada da atividade científica por parte de estudantes e professores.

Finalmente, uma análise de agrupamentos evidenciou que 72% (N=157) da amostra de sujeitos analisados apresentou concepções incoerentes, na medida em que: (i) manifestaram concordância com aspectos que se alinham a posturas mais construtivistas acerca da Ciência e da modelagem científica; e, ao mesmo tempo, (ii) discordaram de um posicionamento filosófico contrário à concepção empirista-indutivista da Ciência e ao fato de que os modelos científicos não representam a realidade tal como ela se apresenta. Tal resultado corrobora os encontrados por Justi e Gilbert (2003) sobre concepções de professores acerca de modelos científicos e por Koulaidis e Ogborn (1989) acerca da natureza da Ciência.

Em virtude do caráter exploratório e da abordagem canônica ao estudo de um campo conceitual proposta por Vergnaud (1988), um novo ciclo de investigação foi delineado, levando em conta os resultados dos estudos I e II, e permitiu coletar e interpretar dados sobre outros procedimentos e modos de raciocínio dos professores quando estão envolvidos em atividades de modelagem em Física, com fins didáticos.

Entretanto, como já foi dito, antes de iniciar esse novo ciclo de investigação, foi necessário delimitar o campo conceitual da modelagem científica em Física em termos: (i) não só das situações capazes de dar sentido aos conceitos-chave a serem introduzidos; (ii) como também dos invariantes operatórios ditos ‘de referência’ associados a esses conceitos, isto é, do que esperar-se-ia que um sujeito mobilizasse em termos de conhecimentos, ainda que implicitamente, para modelar tais situações; e (iii) das possíveis representações simbólicas associadas aos invariantes que, por sua vez, estão relacionados às situações.

Tal delimitação foi realizada no Estudo III e evidenciou o fato de que o campo conceitual da modelagem científica em Física pode ser visto como uma unidade de estudo frutífera para dar sentido às formas predicativa (concepções) e operatória (invariantes) do conhecimento utilizadas pelos professores de Física do Ensino Médio em situações de modelagem nos diversos campos conceituais específicos da Física.

O que se quer dizer é que os professores de Física do Ensino Médio já possuem conhecimentos acerca dos modelos e da modelagem científica em Física que foram construídos ao longo de suas vidas acadêmico-profissionais e que precisam ser investigados. Isso porque alguns desses conhecimentos podem ser mobilizados adequadamente para classes de situações prototípicas de um campo conceitual específico da Física, e suas respectivas representações simbólicas, mas não em outras situações ou campos.

Nesse sentido, a principal implicação dessa tese para a Pesquisa em Ensino de Física residiu na investigação acerca da natureza e de como atuam na conceitualização do real as concepções e os invariantes operatórios que professores evocam em situação de modelagem, ou seja, nas situações de interesse da Física em que se impõe a necessidade de um processo de mediação e/ou contrastação entre teoria e realidade.

Tal investigação foi realizada, especialmente, nos estudos IV e V, no contexto de uma disciplina de pós-graduação, voltada para professores de Física do Ensino Médio. Desse modo, os estudos IV e V buscaram dar suporte empírico ao referencial desenvolvido no Estudo III tentando responder questões de mesma natureza. Tais questões dizem respeito não só à forma predicativa como também à forma operatória do conhecimento utilizadas por professores de Física do Ensino Médio no enfrentamento de situações de modelagem propostas em TICs-II. No entanto, esses estudos se diferenciaram em relação à estratégia de pesquisa adotada. Enquanto o Estudo IV teve um propósito mais descritivo e enfocou a trajetória de uma aluna em TICs-II, o Estudo V teve um caráter mais explanatório e enfocou uma turma de alunos de TICs-II. A seguir, é apresentada uma síntese dos resultados obtidos em ambos os estudos.

Como resposta à primeira questão de pesquisa formulada no Estudo IV, destaca-se que as concepções de ‘simulação’ e de ‘simplificação’, associadas por Raquel à noção de modelo científico no início da disciplina, parecem ter atuado como precursores cognitivos à

reconstrução da sua noção de modelo científico, que passou a ser entendido, ao final da disciplina, como uma construção humana que visa representar aspectos da realidade por meio de idealizações e aproximações.

Como parte da resposta à segunda questão de pesquisa do Estudo IV, destaca-se que as principais dificuldades enfrentadas por Raquel na conceitualização das situações envolvidas nas atividades de modelagem se referem: (i) ao reconhecimento das idealizações e das aproximações assumidas em algumas simulações computacionais; (ii) à compreensão de que as idealizações assumidas nas simulações computacionais dependem da perspectiva teórica a partir da qual as situações são problematizadas; e (iii) à determinação do sistema físico de interesse na simulação computacional, incluindo não só os elementos que o constituem como também os agentes externos que com ele interagem.

Ainda em relação à segunda questão de pesquisa, destacamos que os principais avanços obtidos por Raquel na conceitualização das situações envolvidas nas atividades de modelagem dizem respeito: (i) à compreensão dos conceitos de idealização, aproximação, referente, variável, parâmetro; e (ii) à análise da razoabilidade dos resultados obtidos pelos modelos científicos, sem deixar de levar em conta as questões formuladas e as idealizações e aproximações assumidas.

Como resposta à terceira questão de pesquisa do Estudo IV, destaca-se que foi possível identificar indícios de dois possíveis invariantes operatórios utilizados por Raquel em situações de modelagem. O primeiro está associado à construção de modelos científicos. Já o segundo está relacionado à validação de modelos computacionais. O primeiro parece surgir da necessidade de Raquel idealizar ao máximo toda situação física em questão, a fim de tratá-la do modo mais esquemático possível, independentemente da perspectiva teórica sob a qual a situação esteja sendo abordada. Já o segundo, de certo modo, orienta às ações de Raquel frente ao processo de validação de simulações computacionais, haja vista que a aluna em nenhum momento se questionou sobre possíveis erros e/ou os limites de validade das simulações.

Como resposta à primeira questão de pesquisa formulada no Estudo V, pretendeu-se mostrar com a categorização de enunciados que existem aspectos conceituais subjacentes às concepções dos alunos de TICs-II (professores de Física do Ensino Médio) que podem servir

como ponto de partida para a construção de novos significados acerca dos modelos e da modelagem científica, no contexto da Física. Assim como também há aspectos conceituais que podem estar atuando como obstáculos epistemológicos ou vieses cognitivos à compreensão desses dois construtos e, por conseguinte, do conhecimento científico, em Física.

Como resposta à segunda questão de pesquisa do Estudo V, os Quadros 26 e 27 apresentam, respectivamente, as principais dificuldades enfrentadas e os avanços obtidos na conceitualização do real em Física pelos alunos de TICs-II nas atividades de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, em 2009/02.

Quadro 27 - Dificuldades enfrentadas na conceitualização do real em Física pelos alunos de TICs-II nas atividades de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, em 2009/02.

Dificuldade na conceitualização do real	Deve-se
Identificar as variáveis e os parâmetros de modelos didático-científicos da Física.	Ao baixo nível de conceitualização do que é um sistema dinâmico em Física.
Identificar as idealizações e as aproximações de modelos didático-científicos da Física e suas implicações no contexto de validade dos mesmos.	A situações prototípicas para as quais são assumidas idealizações e aproximações automaticamente, sem a devida reflexão acerca das ‘simplificações’ que tais ações introduzem no processo de modelagem didático-científica em Física.
Identificar os referentes reais de modelos didático-científicos da Física.	À indeterminação do sistema físico de interesse e dos agentes externos que com ele interagem. À falta de clareza entre os objetos reais, ou supostos como tais, e as grandezas físicas que descrevem suas propriedades, estrutura, estados, interações, etc.

Quadro 28 - Avanços obtidos na conceitualização do real em Física pelos alunos de TICs-II nas atividades de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, em 2009/02.

Avanço na conceitualização do real	Deve-se
Compreensão acerca da natureza e da construção de modelos didático-científicos da Física.	À compreensão do que significa idealizar e suas implicações no processo de modelagem didático-científica em Física.
Análise da razoabilidade das soluções encontradas com modelos didático-científicos da Física.	À postura mais crítica e reflexiva adotada pelos alunos após explorarem modelos computacionais com erros introduzidos propositalmente pela professora e que não foram identificados.

Como resposta à terceira questão de pesquisa do Estudo V, o Quadro 28 apresenta três indícios de possíveis invariantes operatórios utilizados pelos alunos de TICs-II nas atividades de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, em 2009/02.

Quadro 29 - Invariantes operatórios utilizados pelos alunos de TICs-II nas atividades de modelagem que lhes foram propostas, na forma de tarefas, em 2009/02.

Invariante operatório	Atua como
Necessidade de idealizar ao máximo a situação física de interesse, a fim de tratá-la da forma mais esquemática possível, independentemente da perspectiva teórica sob a qual a situação esteja sendo abordada.	Viés cognitivo à compreensão da natureza e à construção de modelos didático-científicos em Física.
Pressuposto de que as simulações ou modelos computacionais estão corretos e não precisam ser submetidos a testes capazes de identificar eventuais fontes de erro e/ou limites de validade.	Obstáculo epistemológico à validação de simulações ou modelos computacionais em Física.
A função matemática que ‘melhor’ ajusta um conjunto de dados empíricos é a que minimiza o somatório dos quadrados dos resíduos e que pode ser representada por uma expressão que seja a mais simples ou familiar possível.	Obstáculo epistemológico à adequação quantitativa de modelos didático-científicos em Física.

Em termos do Ensino de Física, a principal implicação didática da estratégia da modelagem didático-científica reflexiva reside na questão das situações que costumam ser trabalhadas em sala de aula. Segundo Vergnaud (1993), “os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com que ele se confronta” (p. 12). Ou seja, os esquemas de pensamento que os estudantes costumam evocar no contexto da sala de aula dependem fortemente das situações e do modo como os professores costumam abordá-las.

Situações que envolvem o enunciado de problemas altamente idealizados, cuja abordagem costuma ser excessivamente formal, exigem um conjunto de esquemas de pensamento por parte dos estudantes que permanece restrito ao contexto escolar. Esse fato tem resultado em um distanciamento entre o Ensino de Física e a realidade experienciada pelos estudantes, chegando a gerar posturas disparatadas, como a apontada por Mazur (1997, p. 4), ao reproduzir as palavras de um estudante: “Professor Mazur, como eu devo responder essas questões? De acordo com o que você nos ensinou, ou da forma como eu penso sobre essas coisas?” Essa passagem evidencia um obstáculo a ser superado no Ensino de Física: a ruptura entre duas visões de mundo que costumam 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. Para tanto, é preciso redirecionar o objetivo do Ensino de Física para a reconstrução conceitual da realidade, estabelecendo

conexões entre o cotidiano e os construtos da Física, que permita aos estudantes adquirir intimidade com a realidade material em um outro nível, definido como realidade física (PIETROCOLA, 1999).

A maioria dos problemas que os estudantes estão acostumados a resolver em campos conceituais específicos da Física se limita à manipulação de expressões matemáticas relativas a um modelo teórico que, em geral, não são associadas às entidades físicas que, de fato, correspondem. Conseqüentemente, ao serem confrontados com situações de modelagem em Física, para as quais é preciso evocar esquemas de pensamento que contém um ou mais dos invariantes operatórios apresentados como exemplo no Quadro 14, os estudantes costumam enfrentar dificuldades no processo de conceitualização do real.

No ‘ensino tradicional’ se costuma alertar o estudante de que a realidade é demasiada complexa. Em seguida, justifica-se por meio de argumentos didático-pedagógicos que o conteúdo será introduzido através de situações altamente idealizadas com o intuito de que, em um futuro próximo, muitas vezes jamais alcançado, o estudante seja capaz de compreender situações mais realísticas. Com isso, o estudante é alertado de que o assunto é complexo e de que ele só será capaz de compreender as situações mais simples naquele momento. Mas não é dito, e sequer mostrado, o quão restrito é o domínio de validade do conhecimento que ele acaba de adquirir. Por isso, não raramente escuta-se, por parte dos estudantes, o seguinte tipo de questionamento: “Em que situações eu posso aplicar essa equação, professor?”

A reflexão acerca do processo de modelagem científica subjacente ao tratamento das situações abordadas em sala de aula não costuma ocorrer. Portanto, o estudante não atribui a devida importância à funcionalidade dos conhecimentos envolvidos nesse processo e, por conseguinte, à aplicabilidade dos conteúdos de conhecimento que ele aprendeu relativos aos mais diversos campos conceituais da Física. Assim, o que se costuma observar entre os estudantes é que eles são capazes de exemplificar por meio de algumas poucas situações onde determinado conhecimento se aplica, mas não sabem efetivamente aplicá-lo. Nesse sentido, os estudantes tendem a se desenvolver cognitivamente privilegiando a forma predicativa do conhecimento em detrimento da forma operatória.

Em razão disso, é desejável que os professores dediquem esforços no planejamento de atividades que favoreçam a aquisição de concepções e competências, por parte dos

estudantes, associadas ao processo de modelagem científica no Ensino de Física. Tais atividades foram sintetizadas em três classes de situações, que não esgotam todas as possibilidades, capazes de dar sentido aos conceitos que se quer introduzir e às competências que se quer desenvolver em um planejamento didático centrado no processo de modelagem científica visto como um campo conceitual.

Essas atividades têm como objetivo favorecer a aquisição de concepções e competências associadas à modelagem científica em Física, por parte de professores, levando em conta aspectos conceituais para o seu domínio que costumam permanecer largamente implícitos na aquisição de conteúdos de conhecimento em Física.

Por fim, como forma de apontar caminhos para a continuação desse trabalho, destaca-se que há outras classes de situações que merecem ser investigadas, a fim de levantar novos significados e invariantes operatórios associados aos modelos e à modelagem científica, tais como atividades de modelagem que enfatizem o papel mediador dos modelos entre simulação e experimentação e teoria e experimentação, no Ensino de Física. O desafio, então, passaria a ser o desenvolvimento dos conhecimentos que atuam como precursores cognitivos e a transformação em objetivos de ensino daqueles que atuam como vieses cognitivos ou obstáculos epistemológicos às aprendizagens em Física.

REFERÊNCIAS

- ADÚRIZ-BRAVO, A.; MORALES, L. El concepto de modelo en la enseñanza de la física – consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 1, p. 79-92, abr. 2002. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.
- ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO-AYMERICH, M. Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Buenos Aires, v. 4, n. esp., p. 40-49, feb. 2009. Disponível em: <http://reiec.sites.exa.unicen.edu.ar/>. Acesso em: 26 fev. 2010.
- AKERSON, V. L.; TOWNSEND, J. S.; DONNELLY, L. A.; HANSON, D. L.; TIRA, P.; WHITE, O. Scientific modeling for inquiring teachers network (SMIT’N): the influence on elementary teachers’ views of nature of science, inquiry, and modeling. **Journal of Science Teacher Education**, New York, v. 20, n. 1, p. 21-40, Feb. 2009.
- ANDALORO, G.; DONZELLI, V.; SPERANDEO-MINEO, R. M. Modelling in physics teaching: the role of computer simulation. **International Journal of Science Education**, London, v. 13, n. 3, p. 243-254, July. 1991.
- ANDRÉS, M. M.; PESA, M. A. Conceptos-en-acción y teoremas-en-acción en un trabajo de laboratorio de física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 4, n.1, p. 59-75, jan/abr. 2004. Disponível em: <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/revista/index.html>. Acesso em: 26 fev. 2010.
- ANDRÉS, M. M.; PESA, M. A.; MOREIRA, M. A. El trabajo de laboratorio en cursos de física desde la teoría de campos conceptuales. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 12, n. 2, p. 129-142, dez. 2006. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacao/login.php>. Acesso em: 26 fev. 2010.
- ARAUJO, I. S. **Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de física geral**. 2005. 238f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/>. Acesso em: 26 fev. 2010.
- ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da cinemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 179-184, jun. 2004. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.
- _____. Adapting Gowin’s V diagram to computational modeling and simulation applied to physics education. In: GIREP International Conference, 2006, 7, Amsterdam. **Proceedings GIREP International Conference 2006: Modelling in Physics and Physics Education**. Amsterdam: University of Amsterdam, 2006. p. 459-464. Disponível em: <http://www.girep.org/proceedings/proceedings.html?volume=20>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. Modelos computacionais no ensino-aprendizagem de física: um referencial de trabalho. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 341-366, ago. 2012. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/>. Acesso em: 03 set. 2012.

_____. Simulações computacionais na aprendizagem da lei de Gauss para a eletricidade e da lei de Ampère em nível de física geral. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 6, n. 3, p. 601-629, dic. 2007. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 18 nov. 2010.

_____. Physics students' performance using computational modelling activities to improve kinematics graphs interpretation. **Computers & Education**, Elmsford, v. 50, n. 4, p. 1128-1140, May. 2008.

ARRIASSECQ, I.; GRECA, I. M. Introducción de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio/polimodal de enseñanza: identificación de teoremas-en-acto y determinación de objetivos-obstáculo. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 189-218, ago. 2006. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

BARAB, S. A.; HAY, K. E.; BARNETT, M.; KEATING, T. Virtual solar system project: building understanding through model building. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 37, n. 7, p. 719-756, Sept. 2000.

BARNETO, A. G.; RAYA, J. P. B. Efecto de las simulaciones interactivas sobre las concepciones de los alumnos en relación con el movimiento armónico simple. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 7, n. 3, p. 681-703, dic. 2008. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 18 nov. 2010.

BENITO, J. V. S.; GRAS-MARTI, A.; SOLER-SELVA, V. Recursos para la enseñanza del péndulo simple: imágenes, mediciones, simulaciones y guías didácticas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 2, p. 165-189, ago, 2005. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

BENSSON, U.; VIENNOT, L. Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: two experimental interventions in solid friction and fluid statics. **International Journal of Science Education**, London, v. 26, n. 9, p. 1083-1110, July. 2004.

BLAKE, C.; SCANLON, E. Reconsidering simulations in science education at a distance: features of effective use. **Journal of Computer Assisted Learning**, Nottingham, v. 23, n. 6, p. 491-502, Dec. 2007.

BRANDÃO, R. V. **A aprendizagem do campo conceitual associado à modelagem científica por parte dos professores de física do ensino médio**. 2008. 205f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 10-14, maio. 2008a. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. Um estudo exploratório sobre a aprendizagem do campo conceitual associado à modelagem científica por parte de professores de Física do ensino médio. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, XI, 2008, Curitiba. **XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física: Programa e Resumos**, Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2008b, p. 72-73. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epenf/xi/atas/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. Investigating the learning of key concepts of scientific modeling by high school teachers. In: GIREP International Conference MPTL 13th Workshop, 2008, 8, Nicosia. **Proceedings GIREP 2008 International Conference: physics curriculum design, development and validation**, Nicosia: University of Cyprus, 2008c. p. 175-176.

_____. Fenômenos físicos e modelos científicos. **Hipermídias de apoio ao professor de física**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 17, março. 2008d. Acesso em: 03 jun. 2012. <http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/index.php>.

_____. Curso sobre fenômenos físicos e modelos científicos: um relato de experiência com professores de física em um ambiente virtual de aprendizagem. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, XVIII, 2009, Vitória. **XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2009. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. Concepções e dificuldades dos professores de física no campo conceitual da modelagem científica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 9, n. 3, p. 669-695, dic. 2010. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 26 fev. 2011.

_____. A modelagem científica vista como um campo conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 3, p. 507-545, dez. 2011. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em 24 fev. 2012.

_____. Um estudo de caso para dar sentido à tese de que a modelagem científica pode ser vista como um campo conceitual. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias** (artigo submetido).

_____. As formas predicativa e operatória do conhecimento acerca do campo conceitual da modelagem didático-científica por parte de professores de Física do Ensino Médio. **Revista Investigações em Ensino de Ciências** (artigo submetido).

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; SILVEIRA, F. L. Validación de un cuestionario para investigar concepciones de profesores sobre ciencia y modelaje científico en el contexto de la física. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Buenos Aires, v. 6, n. 1, p. 43-60, ene/jul. 2011. Disponível em: <http://reiec.sites.exa.unicen.edu.ar/>. Acesso em: 26 fev. 2012.

BREWE, E. Modeling theory applied: modeling instruction in introductory physics. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 76, n. 12, p. 1155-1160, Dec. 2008.

BUFFLER, A.; PILLAY, S.; LUBBEN, F.; FEARICK, R. A model-based view of physics for computational activities in the introductory physics course. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 76, n. 4-5, p. 431-437, Apr/May. 2008.

BUNGE, M. **La ciencia, su método y su filosofía**. Buenos Aires: Ediciones Siglo Veinte, 1960. 110 p.

_____. **Teoria e realidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1974. 243 p. Tradução: Gita K. Guinsburg. (Debates, 72).

_____. **Racionalidad y realismo**. Madrid: Alianza Editorial, 1985.

_____. **La investigación científica: su estrategia y su filosofía**. 2. Ed. Barcelona: Editorial Ariel, 1989. 955 p. Tradução: Manuel Sacristán.

_____. **Dicionário de filosofia**. São Paulo: Perspectiva, 2006.

_____. **Física e filosofia**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2007. 343 p. Tradução: Gita K. Guinsburg. (Debates, 165).

CAHYADI, M. V.; BUTLER, P. H. Undergraduate students' understanding of falling bodies in idealized and real-world situations. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 41, n. 6, p. 569-583, Aug. 2004.

CAMACHO, F. F.; CAZARES, L. G. Partial possible models: an approach to interpret students' physical representation. **Science Education**, New York, v. 82, n. 1, p. 15-29, Jan. 1998.

CAMILETTI, G.; FERRACIOLI, L. A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 214-228, ago. 2001. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. A utilização da modelagem computacional semiquantitativa no estudo do sistema mola-massa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 110-123, jun. 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

CARVALHO JR., G. D.; AGUIAR, JR., O. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 25, n. 2, p. 207-227, ago. 2008. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

CHRISTIAN, W.; ESQUEMBRE, F. Modeling physics with easy java simulations. **The Physics Teacher**, New York, v. 45, n. 8, p. 475-480, Nov. 2007.

COLL, R. K.; FRANCE, B.; TAYLOR, I. 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.

COLL. R. K.; LAJIUM, D. Modeling and the future of science learning. In: KHINE, M. S.; SALEH, I. M. (Eds.). **Models and modeling: cognitive tools for scientific enquiry**. London: Springer, 2011. 290 p. (Models and modeling in science education, 6).

CONCARI, S. B. Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias, **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 1, p. 85-94, abr. 2001. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacao/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

COVALEDA, R.; MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C. Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 4, n. 1, p. 1-38. abr. 2005. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. Los conceptos de sistema y equilibrio en el proceso de enseñanza/aprendizaje de la mecánica y termodinámica. Posibles invariantes operatorios. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 8, n. 2, p. 722-744, ago. 2009. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 26 fev. 2010.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrical**, v. 16, n. 3, p. 297-334. 1951.

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.

CUDMANI, L. C.; SANDOVAL, J. S. Modelo físico e realidade. Importância epistemológica de sua adequação quantitativa. Implicações para a aprendizagem. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 8, n. 3, p. 193-204, dez. 1991. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

CUDMANI, L. C.; PESA, M. A. La evolución de los significados de los conceptos científicos en relación con la estructura cognitiva de los estudiantes. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 14, n. 3, p. 365-380, dez. 2008. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacao/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

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. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

DEVELAKI, M. The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. **Science & Education**, Amsterdam, v. 16, n. 7-8, p. 725-749, Aug. 2007.

DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: parte I – circuitos elétricos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 487-496, dez. 2006. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: parte II – circuitos RLC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 3308-16, set. 2008. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

ESCUADERO, C.; MOREIRA, M. A.; CABALLERO, C. Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de física introductoria de secundaria. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 2, n. 3, dez. 2003. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 26 fev. 2010.

ESCUADERO, C.; JAIME, E. A. Conocimientos-en-acción: un estudio acerca de la integración de las fuerzas y la energía en cuerpo rígido. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 115-133, mar. 2009. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

EZRAILSON, C. M.; ALLEN, G. D.; LOVING, C. C. Analyzing dynamic pendulum motion in an interactive online environment using flash. **Science & Education**, Amsterdam, v. 13, n. 4-5, p. 437-457, July. 2004.

FANARO, M. A.; OTERO, M. R.; MOREIRA, M. A. Teoremas-en-acto y conceptos-en-acto en dos situaciones relativas a la noción de sistema cuántico. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 9, n. 3, set/dez. 2009. Disponível em: <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/revista/index.html>. Acesso em: 26 fev. 2010.

FÁVERO, M. H.; SOUZA, C. M. S. G. A resolução de problemas em física: revisão de pesquisa, análise e proposta metodológica. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 143-196, maio. 2001. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

FERNÁNDEZ, P. E.; GONZÁLEZ, E. M.; MATARREDONA, J. S. De los corpúsculos de luz al efecto fotoeléctrico. Una propuesta didáctica con base en la discusión de modelos. **Revista de Enseñanza de la Física**, Buenos Aires, v. 18, n. 1, p. 69-80, 2005.

FIGUEIRA, J. S. Easy java simulations – modelagem computacional para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 613-618, dez. 2005. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

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.

GALOVSKY, L.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales: el concepto de modelo didáctico analógico. **Revista Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 19, n. 2, p. 231-242, jun. 2001.

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

GIERE, R. N.; BICKLE, J.; MAULDIN, R. F. **Understanding scientific reasoning**. 5. ed. Toronto: Thomson Wadsworth, 2006. 320 p.

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.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C.; RUTHERFORD, M. Models in explanations, part 1: horses for courses? **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n. 1, p. 83-97, Jan. 1998a.

_____. Models in explanations, part 2: whose voice? Whose ears? **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n. 2, p. 187-203, Feb. 1998b.

GOBERT, J. D. Introduction to model-based teaching and learning in science education. **International Journal of Science Education**, London, v. 22, n. 9, p. 891-894, Sept. 2000.

GOMES, T.; FERRACIOLI, L. A investigação da construção de modelos no estudo de um tópico de física utilizando um ambiente de modelagem computacional qualitativo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 453-461, dez. 2006. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

GONZÁLEZ, S. B.; ESCUDERO, C. Las unidades en problemas de física para escuela secundaria. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 26, n. 3, p. 460-477, dez. 2009. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

GRANDY, R. E. What are models and why do we need them? **Science & Education**, v. 12, n. 8, p. 773-777, Nov. 2003.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 107-120, ago. 1998. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 31-53, mar. 2002. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. Do saber fazer ao saber dizer: uma análise do papel da resolução de problemas na aprendizagem conceitual de Física. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 1-16, mar. 2003. Disponível em: <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 31-46, mar. 2005. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 463-471, dez. 2006. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da termodinâmica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 7, n. 1, p. 23-46, abr. 2008. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

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

_____. Schematic concepts for schematic models of the real world: the newtonian concept of force. **Science Education**, New York, v. 82, n. 2, p. 239-263, apr. 1998.

_____. **Modeling theory in science education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. 250 p. (Science & Technology Education Library, 24).

HANSEN, J. A.; BARNETT, M.; MAKINSTER, J. G.; KEATING, T. The impact of three-dimensional computational modeling on student understanding of astronomical concepts: a quantitative analysis. **International Journal of Science Education**, London, v. 26, n. 11, p. 1365-1378, Sept. 2004a.

_____. The impact of three-dimensional computational modeling on student understanding of astronomical concepts: a qualitative analysis. **International Journal of Science Education**, London, v. 26, n. 13, p. 1555-1575, Oct. 2004b.

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, Jan. 2000.

HART, C. Models in physics, models for physics learning, and why the distinction may matter in the case of electric circuits. **Research in Science Education**, Amsterdam, v. 38, n. 5, p. 529-544, Nov. 2008.

HESTENES, D. Toward a modeling theory of physics instruction. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 55, n. 5, p. 440-454, May, 1987.

_____. Modeling games in the newtonian world. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 60, n. 8, p. 732-748, Aug. 1992.

HENZE, I.; VAN DRIEL, J. H.; VERLOOP, N. Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a new syllabus on public understanding of science. **Research in Science Education**, Amsterdam, v. 37, n. 2, p. 99-122, June. 2007a.

_____. The change of science teachers' personal knowledge about teaching models and modelling in the context of science education reform. **International Journal of Science Education**, London, v. 29, n. 15, p. 1819-1846, Dec. 2007b.

_____. Development of experienced science teachers' pedagogical content knowledge of models of the solar system and the universe. **International Journal of Science Education**, London, v. 30, n. 10, p. 1321-1342, Aug. 2008.

HODSON, D. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. **International Journal of Science Education**, London, v. 14, n. 5, p. 541-562, 1992.

HWANG, F-K. Thin lens. **NTNU virtual physics laboratory**. 1996a. Disponível em: <http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/>. Acesso em: 07 out. 2011.

_____. Projectile motion with air drag. **NTNU virtual physics laboratory**. 1996b. Disponível em: <http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/>. Acesso em: 07 out. 2011.

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. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. ¿Qué ideas tienen los profesores de física de nivel medio respecto al modelado? **Ciência & Educação**, Bauru, v. 8, n. 1, p. 13-26, jun. 2002. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacao/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Revista Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 24, n. 2, p. 173-184, jun. 2006.

JUSTI, R. S.; GILBERT, J. K. 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.

_____. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, London, v. 24, n. 4, p. 369-387, Apr. 2002a.

_____. Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. **International Journal of Science Education**, London, v. 24, n. 12, p. 1273-1292, Dec. 2002b.

_____. Teachers' views on the nature of models. **International Journal of Science Education**, London, v. 25, n. 11, p. 1369-1386, Nov. 2003.

JUSTI, R.; VAN DRIEL, J. The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. **International Journal of Science Education**, London, v. 27, n. 5, p. 549-573, Apr. 2005.

KEATING, T.; BARNETT, M.; BARAB, S. A.; HAY, K. E. The virtual solar system project: developing conceptual understanding of astronomical concepts through building three-dimensional computational models. **Journal of Science Education and Technology**, Brookline, v. 11, n. 3, p. 261-275, Sept. 2002.

KIPNIS, N. Theories as models in teaching physics. **Science & Education**, Amsterdam, v. 7, n. 3, p. 245-260, May. 1998.

KOPONEN, I. T. Model and modelling in physics education: a critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. **Science & Education**, Amsterdam, v. 16, n. 7-8, p. 751-773, Aug. 2007.

- KOULAUDIS, V; OGBORN, J. Philosophy of science: an empirical study of teachers' views. **International Journal of Science Education**, London, v. 11, n. 2. p. 173-184. Feb. 1989.
- KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 185-205, set./dez. 1997. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/>. Acesso em: 26 fev. 2010.
- LATTERY, M. J. The long decay model of one-dimensional projectile motion. **Science & Education**, Amsterdam, v. 17, n. 7, p. 779-798, Aug. 2008.
- LLANCAQUEO, A.; CABALLERO, M. C.; MOREIRA, M. A. El aprendizaje del concepto de campo en física: una investigación exploratoria a luz da teoría de Vergnaud. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 399-417, dez. 2003. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, New York, v. 22, n. 140, p. 1-55, 1932.
- LOMBARDI, O. La noción de modelo en ciencias. **Educación en Ciencias**, Buenos Aires, v. 2, n. 4, p. 5-13, ene./abr. 1997.
- LOPES, J. B.; COSTA, N. The evaluation of modelling competences: difficulties and potentials for the learning of the sciences. **International Journal of Science Education**, London, v. 29, n. 7, p. 811-851, June. 2007.
- LORD, F. M.; NOVICK, M. R. **Statistical theories of mental test scores**. Reading: Addison-Wesley, 1968.
- LORTIE, D. C. **Schoolteacher: a sociological study**. 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 2002. 308 p.
- MAOR, E. A repertoire of S.H.M. **The Physics Teacher**, College Park, v. 10, n. 7, p. 377-382, Oct. 1972.
- MATTHEWS, M. R. Mario Bunge: physicist and philosopher. **Science & Education**, New York, v. 12, n. 5-6, p. 431-444, Aug. 2003.
- _____. Idealisation and Galileo's pendulum discoveries: historical, philosophical and pedagogical considerations. **Science & Education**, New York, v. 13, n. 4-5, p. 689-715, July. 2004.
- _____. Models in science and in science education: an introduction. **Science & Education**, New York, v. 16, n. 7-8, p. 647-652. Aug. 2007.
- _____. Mario Bunge: físico, filósofo y defensor de la ciencia. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Buenos Aires, v. 4, p. 1-9, julio. 2009. n. esp. Disponível em: <http://reiec.sites.exa.unicen.edu.ar/numero-especial>. Acesso em: 26 fev. 2010.

MATZEN, C. P. Modelamiento y simulación computacional en la enseñanza y aprendizaje de la física. **Revista Chilena de Educación Científica**, Santiago, v. 1, n. 2, p. 8-15, dic. 2003.

MAZUR, E. **Peer instruction: a user's manual**. Upeer Saddle River: Prentice Hall, 1997. 253 p.

MCKAGAN, S. B.; PERKINS, K. K.; WIEMAN, C. E. Why we should teach the Bohr model and how to teach it effectively. **Physical Review Special Topics – Physics Education Research**, New York, v. 4, n. 1, p. 010103-10, Jan/June. 2008.

MCKINNEY, W. J. The educational use of computer based science simulations: some lessons from the philosophy of science. **Science & Education**, New York, v. 6, n. 6, p. 591-603, Nov. 1997.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, jun. 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

MEDINA, C.; VELAZCO, S.; SALINAS, J. Control experimental del modelo de péndulo matemático. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 254-258, jun. 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

MONTEIRO, L. H. A. **Sistemas dinâmicos**. 2 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. 625 p.

MOODLE. Educação a distância. Disponível em: <https://moodleinstitucional.ufrgs.br/login/index.php>. Acesso em: 26 fev. 2010.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação nesta área. In: ___ (Org.). **A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Investigação nesta Área**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2004, cap. 1, p. 7-32.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 10, n. 2, p.108-117, ago. 1993. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

MORGAN, M. S.; MORRISON, M. **Models as mediators**: perspectives on natural and social science. New York: Cambridge University Press, 1999. 401 p. (Ideas in context, 52).

MULAIK, S. A. **The foundations of factor analysis**. New York: McGraw-Hill Book Company. 1972.

NIAZ, M. The role of idealization in science and its implications for science education. **Journal of Science Education and Technology**, Brookline, v. 8, n. 2, p. 145-150, June. 1999.

NOLA, R. Pendula, models, constructivism and reality. **Science & Education**, New York, v. 13, n. 4-5, p. 349-377, July. 2004.

NUNNALLY, J. C. **Psychometric Theory**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1978.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. v. 4. São Paulo: Edgar Blücher Ltda. 1998.

OLIVA-MARTÍNEZ, J. M. y ARAGÓN-MÉNDEZ, M. M. Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. **Revista Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 27, n. 2, p. 195-208. jun. 2009.

OTERO, M. R. Emociones, sentimientos y razonamientos en didáctica de las ciencias. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Buenos Aires, v. 1, n. 1, p. 24-53, oct. 2006. Disponible em: <http://reiec.sites.exa.unicen.edu.ar/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. La notion de situation: analysée depuis la théorie des champs conceptuels, la théorie des situations, la dialectique outil-object et la théorie anthropologique du didactique. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Buenos Aires, v. 5, n. 1, p. 42-53, ene/jul. 2010. Disponible em: <http://reiec.sites.exa.unicen.edu.ar/>. Acesso em: 18 nov. 2010.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 213-227, Set. 1999. Disponible em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

PORLÁN, R.; RIVERO, A.; MARTÍN DEL POZO, R. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: teoría, métodos e instrumentos. **Revista Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 15, n. 2, p. 155-173, jun. 1997.

PORTIDES, D. P. The relation between idealisation and approximation in scientific model construction. **Science & Education**, Amsterdam, v. 16, n. 7-8, p. 699-724, Aug. 2007.

RAMPINELLI, M.; FERRACIOLI, L. Estudo do fenômeno de colisões através da modelagem computacional quantitativa. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 23, n. 1, p. 93-122, abr. 2006. Disponible em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

REDFORS, A.; RYDER, T. University physics students' use of models in explanations of phenomena involving interaction between metals and electromagnetic radiation. **International Journal of Science Education**, London, v. 23, n. 12, p. 1283-1301, Dec. 2001.

RÍOS, S. L.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Modelación computacional apoyada en el uso del diagrama V de Gowin para el aprendizaje de conceptos de dinámica newtoniana. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 10, n. 1, p. 202-226, jan-abr. 2011. Disponible em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 18 jan. 2012.

SÁNCHEZ, M. A. Animaciones modellus y videos de experiencias de laboratorio para dar un nuevo impulso a la enseñanza de la mecánica newtoniana. **Revista Electrónica de**

Enseñanza de las Ciencias, Vigo, v. 6, n. 3, p. 729-745, dic. 2007. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 18 nov. 2010.

SANTOS, A. C. K. Modelamento computacional através do sistema de modelamento celular (CMS): alguns aspectos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 31-39, abr. 1990. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. Alguns aspectos do uso do sistema de modelamento IQON no ensino de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 8, n. 2, p. 106-117, ago. 1991. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

SANTOS, A. C. K.; CHO, Y.; ARAUJO, I. S.; GONÇALVES, G. P. Algumas possibilidades de utilização dos princípios de sistemas de Forrester em tópicos de física, através da ferramenta de modelagem quantitativa STELLA. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n.1, p. 81-95, abr. 2000. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

SANTOS, C. A.; MOREIRA, M. A. **Escalonamento multidimensional e análise de agrupamentos hierárquicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1991. 172 p.

SANTOS, G.; OTERO, M. R.; FANARO, M. A. ¿Cómo usar software de simulación en clases de física? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 1, p. 50-66, abr. 2000. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

SCHWARZ, C. V.; MEYER, J.; SHARMA, A. Technology, pedagogy, and epistemology: opportunities and challenges of using computer modeling and simulation tools in elementary science methods. **Journal of Science Teacher Education**, New York, v. 18, n.2, p. 243-269, Apr. 2007.

SCHWARZ, C. Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry. **Science Education**, New York, v. 93, n. 4, p. 720-744, July. 2009.

SENSEVY, G.; TIBERGHIE, A.; SANTINI, J.; LAUBÉ, S.; GRIGGS, P. An epistemological approach to modeling: cases studies and implications for science teaching. **Science Education**, New York, v. 92, n. 3, p. 424-446, May. 2008.

SILVA, C. C. The role of models and analogies in the eletromagnetic theory: a historical case study. **Science & Education**, Amsterdam, v. 16, n. 7-8, p. 835-848, Aug. 2007.

SILVEIRA, F. L. Validação de instrumentos de medida aplicados à pesquisa em ensino de física. In: MOREIRA, M. A.; SILVEIRA, F. L. **Instrumentos de pesquisa em ensino e aprendizagem**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1993.

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**, v. 19, n. esp., p. 7-27. jun. 2002. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>. Acesso em: 26 fev. 2010.

SMIT, J. J. A.; FINEGOLD, M. Models in physics: perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at south african universities. **International Journal of Science Education**, London, v. 17, n. 5, p. 621-634, Sept. 1995.

SOUZA, C. M. S. G.; FÁVERO, M. H. Análise de uma situação de resolução de problemas de física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 55-75, jan. 2002. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

SOUZA, C. M. S. G.; MOREIRA, M. A.; MATHEUS, T. A. M. A resolução de situações-problema experimentais no campo conceitual do eletromagnetismo: uma tentativa de identificação de conhecimentos-em-ação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 5, n. 3, p. 61-72, set/dez. 2005. Disponível em: <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/revista/index.html>. Acesso em: 26 fev. 2010.

STEFFENS, C. A. **Um olhar sobre medidas em física**. 2008. 353f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

STYLIANIDOU, F.; BOOHAN, R.; OGBORN, J. Science teachers' transformations of the use of computer modeling in the classroom: using research to inform training. **Science Education**, New York, v. 89, n.1, p. 56-70, Jan. 2004.

TELEDUC. Ambiente de ensino a distância. Disponível em: <http://teleduc.nied.unicamp.br>. Acesso em: 20 dez. 2008.

TEODORO, V. D. Paying newtonian games with modellus. **Physics Education**, Bristol, v. 39, n. 5, p. 421-428, Sept. 2004.

VAN DRIEL, J. H.; VERLOOP, N. Teachers' knowledge of models and modelling in science. **International Journal of Science Education**, London, v. 21, n. 11, p. 1141-1153, Nov. 1999.

_____. Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. **International Journal of Science Education**, London, v. 24, n. 12, p. 1255-1272, Dec. 2002.

VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. **Exemplos de aplicativos para a modelagem computacional no ensino de ciências**. Texto de apoio preparado para a disciplina de pós-graduação Bases Teóricas e Metodológicas para o Ensino Superior, Instituto de Física, UFRGS, 2007a.

_____. **Modelagem computacional aplicada ao ensino**. Texto de apoio preparado para a disciplina de pós-graduação Bases Teóricas e Metodológicas para o Ensino Superior, Instituto de Física, UFRGS, 2007b.

VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S.; MOREIRA, M. A. Modelado computacional en la enseñanza de ciencias. **Revista Chilena de Educación Científica**, Santiago, v. 7, n. 2, p. 3-11, dic. 2008.

VEIT, E. A.; BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S. Modelagem computacional em cursos de formação continuada de professores de Física. In: **2^{da} Conferencia Regional del Cono Sur sobre Aprendizaje Activo de la Física**. La Falda, Argentina, 1 al 5 de Junio de 2009.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 87-96, jun. 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

VEIT, E. A.; MORS, P. M.; TEODORO, V. D. Ilustrando a segunda lei de Newton no século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, jun. 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso em: 26 fev. 2010.

VERGNAUD, G. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In: CARPENTER, T.; MOSER, J. M.; ROMBERG, T. (Eds.). **Addition and subtraction**. A cognitive perspective. (p. 39-59). Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1982.

_____. Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives. **Atelier International d'été: Recherche en Didactique de la Physique**. La Londe les Maures, França, 26 de junho a 13 de julho, 1983.

_____. Problem solving and concept development in the learning of mathematics. In: **E.A.R.L.I. Second Meeting**, Tübingen, p. 1-15, Sept. 1987.

_____. Multiplicative structures. In: HIEBERT, H; BEHR, M. (Eds.). **Research Agenda in Mathematics Education**. Number Concepts and Operations in the Middle Grades(p. 141-161). Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1988.

_____. La théorie des champs conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 10, n. 2-3, p. 133-170, 1990.

_____. 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.

_____. Multiplicative conceptual field: what and why? In: GUERSHON, H.; CONFREY, J. (Eds.). **The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics**. (p. 41-49). New York: State University of New York Press, 1994.

_____. A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. **Revista do GEEMPA**, Porto Alegre, v. 4, p. 9-19, jul. 1996. Disponível em: <http://www.geempa.org.br/index2.html>. Acesso em: 26 fev. 2010.

_____. The nature of mathematical concepts. In: NUNES, T.; BRYANT, P. (Eds.). **Learning and teaching mathematics**. An international perspective. (p. 1-28). Hove: Psychology Press, 1997.

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

_____. **Activité humaine et conceptualisation**: questions à Gérard Vergnaud. Toulouse: Presses Universitaires du Mirail, 2007. 375 p.

VIAU, J. E.; MORO, L. E.; ZAMORANO, R. O.; GIBBS, H. La transferencia epistemológica de un modelo didáctico analógico. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 5, n. 2, p. 170-184, abr. 2008.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman. 2005.

WEIL-BARAIS, A.; VERGNAUD, G. Students conception in Physics and Mathematics: biases and helps. In: CAVERNI, J. P.; FABRE, J. M.; GONZÁLEZ, M. (Eds.). **Cognitive biases**. North Holland: Elsevier Science Publishers, 1990. p. 69-84.

WELLER, H. G. Diagnosing and altering three aristotelian alternative conceptions in dynamics: microcomputer simulations of scientific models. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 32, n. 3, p. 271-290, Mar. 1995.

WELLS, M.; HESTENES, D.; SWACKHAMER, G. A modeling method for high school physics instruction. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 63, n. 7, p. 606-619, July. 1995.

WESTPHAL, M.; PINHEIRO, T. C. A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o ensino de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 585-596, dez. 2004. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacao/>. Acesso em: 26 fev. 2010.

WHERRY, R. J. **Contributions to correlational analysis**. London: Academic Press, 1984.

ZABALA, A.; ARNAU, L. **Como aprender e ensinar competências**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

APÊNDICE A

Neste apêndice estão classificados e apresentados resumidamente os 97 artigos revisados sobre o tema modelos e modelagem científica no Ensino de Física, de acordo com as categorias de análise do Quadro 1 do Capítulo 2.

Categoria 1 – Concepções e atitudes de professores sobre modelos e modelagem científica

O Quadro A.1 apresenta os artigos da Categoria 1 que investigaram concepções sobre modelos e modelagem científica de futuros professores e professores em exercício, ordenados pelo ano de publicação.

Quadro A.1 – Autor(es) e ano de publicação, título e resumo dos artigos incluídos na Categoria 1.

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
Gilbert (1991)	Título. <i>Model building and a definition of science.</i> Resumo. O artigo tem como objetivo introduzir uma definição alternativa de Ciência e apresentar indicativos de sua eficácia e operacionalidade no contexto educacional. A definição está baseada no processo de construção de modelos conceituais preditivos. Partindo dessa definição de Ciência, o autor levantou concepções sobre a Ciência e os modelos científicos de 687 estudantes universitários de um curso introdutório de Biologia. Para tanto, dois conjuntos de seis afirmativas foram utilizados: um conjunto sobre a natureza do conhecimento científico e da pesquisa científica e outro sobre a natureza dos modelos e do seu processo de construção. O principal resultado indica que os estudantes discordam da ideia de que o conhecimento científico é artificial e não mostra a natureza como ela realmente é. Por outro lado, a maioria dos estudantes concorda que um modelo é uma representação artificial. O autor conclui que a definição de Ciência como uma construção de modelos pode auxiliar os estudantes a compreender que o conhecimento científico é uma construção humana e, portanto, artificial. Adicionalmente, o autor defende que o valor de sua proposta depende fortemente do nível de conceitualização dos estudantes acerca da noção de modelo científico.
Smit e Finegold (1995)	Título. <i>Models in physics: perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at south african universities.</i> Resumo. O artigo tem como objetivo responder a seguinte questão de pesquisa: futuros professores de Física estão preparados para ensinar sobre a natureza e a função dos modelos científicos? Para tanto, os autores desenvolveram um instrumento que consiste em: (a) um questionário do tipo Likert de 15 itens sobre a natureza e a função dos modelos científicos na Física em geral e 8 itens sobre a natureza e a função de dois modelos científicos da Ótica em particular; e (b) três questões abertas sobre a natureza e a função dos modelos científicos na Física em geral. Esse instrumento foi administrado a 196 futuros professores sul-africanos, estudantes do último ano de 16 universidades da África do Sul e da Namíbia. Os resultados obtidos apontam que: (a) os futuros professores consideram que a função mais importante dos modelos científicos em Física não reside na pesquisa e no desenvolvimento de conhecimento científico mas sim no ensino; (b) não há uma distinção clara entre modelos científicos e modelos de manufatura empregados por engenheiros no desenvolvimento tecnológico; (c) um modelo é descrito como sendo aproximadamente similar à entidade real modelada; essa visão está em contradição com a visão comumente aceita na literatura sobre a origem e natureza dos modelos em Física; (d) distintos significados são atribuídos

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	ao termo ‘modelo’ em diferentes disciplinas; a formação do conceito de modelo em uma disciplina parece interferir na compreensão desse conceito em outra disciplina; a formação do conceito de modelo na disciplina em que os estudantes estiveram mais expostos parece dominar; (e) há uma confusão entre teorias e modelos: teorias são consideradas como hipóteses, abstratas e mais fundamentais do que modelos; modelos são vistos como ilustrações de teorias e visuais por natureza; (f) em Ótica não há distinção entre o modelo (de raio) e a realidade (feixe de luz); e (g) os modelos de onda e de partícula são vistos como um só modelo devido ao desconhecimento do princípio da complementaridade de Bohr; segundo os autores, isso é uma consequência da visão de que os modelos são vistos como retratos (representações pictóricas) de entidades na natureza.
Van Driel e Verloop (1999)	Título. <i>Teachers’ knowledge of models and modelling in science.</i> Resumo. Tendo como objetivo investigar o conhecimento de professores sobre modelos e modelagem na Ciência, os autores elaboraram um questionário do tipo Likert com 32 itens enfocando: (a) tipos de representação; (b) objetivos e funções dos modelos; (c) características dos modelos; e (d) concepção e desenvolvimento de modelos. O questionário foi administrado a um grupo de 71 professores de Ciências (Física, Química e Biologia) que participaram de um projeto de inovação curricular que enfatizou o papel e a natureza dos modelos científicos. Os autores identificaram concepções inconsistentes por parte de um grupo de professores, que integram elementos, por um lado, de uma visão positivista e, por outro, de uma orientação epistemológica mais construtivista acerca dos modelos científicos.
Islas e Pesa (2001)	Título. <i>Futuros docentes y futuros investigadores se expresan sobre el modelado en física.</i> Resumo. Os autores apresentam uma investigação exploratória sobre as concepções de modelo científico sustentadas por futuros professores e futuros pesquisadores em Física. A partir de entrevistas individuais semiestruturadas, os estudantes foram questionados sobre algumas ideias-chave sobre modelos e modelagem científica. Os resultados apontam que os futuros pesquisadores apresentam uma postura consistente com noções epistemológicas contemporâneas. Já os futuros professores demonstraram dificuldades similares às detectadas em outras investigações. As autoras entendem que tais diferenças se devem à experiência adquirida pelos futuros pesquisadores durante a formação inicial sobre o processo de modelagem científica. Já os futuros professores não costumam vivenciar essa experiência.
Islas e Pesa (2002)	Título. <i>¿Qué ideas tienen los profesores de física de nivel medio respecto al modelado?</i> Resumo. Este estudo teve como objetivo: (a) caracterizar as concepções de modelo científico sustentadas por professores de Física do ensino médio; e (b) descrever as experiências pessoais dos professores com os modelos científicos. Trata-se de uma investigação de natureza exploratória que faz uso de uma metodologia qualitativa. As autoras realizaram entrevistas semiestruturadas individuais com uma amostra de seis professores de Física do ensino médio da cidade de Tandil, na província de Buenos Aires, Argentina. Os resultados apontam: (a) uma falta de reflexão dos professores sobre o significado e o emprego dos modelos em Física; e (b) sérias dificuldades para interpretar como os modelos se relacionam com a realidade e o papel que desempenham na construção do conhecimento científico.
Justi e Gilbert (2002a)	Título. <i>Modelling, teachers’ views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers.</i> Resumo. Este estudo teve como objetivo: (a) propor um ‘modelo’ para o processo de modelagem aplicada ao ensino de Ciências; e (b) indagar 39 professores de Ciências brasileiros sobre a seguinte questão: quais são os conhecimentos e as competências que uma pessoa deveria possuir para produzir um modelo científico com sucesso? A amostra consistiu de 10 professores (Química e Biologia) do ensino fundamental, 10 do ensino médio (Química, Física e Biologia), 10 estudantes de graduação (futuros professores), e 9 professores universitários de Química. Os professores foram entrevistados individualmente por aproximadamente 1 h. As entrevistas foram transcritas e analisadas com o auxílio do pacote de análises de dados qualitativos <i>Q.S.R. NUD*IST Vivo</i> . As respostas dos professores foram analisadas com base no ‘modelo’ proposto para o processo de modelagem que inclui: (a) os propósitos para os quais o modelo está sendo construído; (b) a experiência pessoal, o conhecimento e os atributos do modelador; (c) a seleção da fonte adequada para o modelo; (d) a produção de um modelo mental; (e) o uso de um modo adequado de representação; (f) a condução de um experimento de pensamento; (g) o delineamento e a realização de teste empírico; (h) a análise do escopo e

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	das limitações do modelo; e (i) a rejeição ou modificação do modelo mental. Com base na análise das entrevistas, os autores concluem que todos esses aspectos devem ser entendidos como condições necessárias para que os professores possam ensinar e os estudantes aprender e empregar um modelo científico.
Van Driel e Verloop (2002)	Título. <i>Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education.</i> Resumo. Este artigo relata um estudo acerca do conhecimento de professores de Ciências com experiência profissional, no contexto de uma reforma no ensino de Ciências na Holanda. O estudo enfocou um dos principais objetivos da reforma: melhorar o conhecimento e as habilidades dos estudantes sobre modelos e modelagem científica. Primeiramente, sete professores de Biologia e Química foram entrevistados sobre o ensino e a aprendizagem de modelos e modelagem científica. Posteriormente, as entrevistas serviram de base para a elaboração de um questionário do tipo Likert de 30 itens que foi administrado a um grupo de 74 professores de Biologia, Química e Física. Os resultados indicaram que os professores puderam ser agrupados em dois subgrupos, que diferem em termos do uso auto-relatado de atividades de ensino enfocando modelos: um subgrupo aplicou tais atividades com mais frequência do que o outro. Esta distinção não pareceu estar relacionada com a área de formação dos professores nem com a sua experiência no ensino. Além disso, o conhecimento dos professores acerca das concepções e habilidades de seus estudantes sobre modelos e modelagem científica não parece influenciar no uso de tais atividades de ensino.
Justi e Gilbert (2002b)	Título. <i>Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science.</i> Resumo. Este artigo investiga a percepção de 39 professores de Ciências brasileiros sobre o papel dos modelos no ensino de Ciências. A amostra consistiu de 10 professores (Química e Biologia) do ensino fundamental, 10 do ensino médio (Química, Física e Biologia), 10 estudantes de graduação (futuros professores), e 9 professores universitários de Química. As ideias dos professores foram organizadas em três grupos: (a) o status e o valor dos modelos; (b) as influências dessas ideias em suas práticas de sala de aula; e (c) como eles reagem aos resultados dos estudantes nas atividades de modelagem. Os professores mostraram-se conscientes quanto ao valor dos modelos para uma aprendizagem da Ciência, mas não sobre o seu valor para uma aprendizagem sobre a Ciência.
Justi e Gilbert (2003)	Título. <i>Teachers' views on the nature of models.</i> Resumo. Uma entrevista semiestruturada foi utilizada para investigar a 'noção de modelo' de 39 professores de Ciências brasileiros. A amostra consistiu de 10 professores (Química e Biologia) do ensino fundamental, 10 do ensino médio (Química, Física e Biologia), 10 estudantes de graduação (futuros professores), e 9 professores universitários de Química. Foram identificados sete aspectos relacionados com: (a) a natureza de um modelo; (b) o uso para o qual o modelo é concebido; (c) as entidades que o compõem; (d) a questão da multiplicidade de modelos; (e) a questão da provisoriedade dos modelos; (f) o status do modelo para fazer previsões; e (g) os critérios para a sua validação e seu uso. Categorias de significados foram identificadas para cada um desses aspectos. Os perfis das noções de modelo dos professores em termos dos aspectos e das categorias propostas se mostraram complexos, não fornecendo suporte para o estabelecimento de níveis de compreensão. Professores de Química e de Física possuíam noções de modelo distintas dos demais (Biologia e em formação).
Henze, Van Driel e Verloop (2007a)	Título. <i>Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a new syllabus on public understanding of science.</i> Resumo. Este estudo teve como objetivo responder a seguinte questão de pesquisa: qual é o conteúdo e a estrutura do conhecimento de um grupo de nove professores de Ciências (Química, Física e Biologia) experientes sobre modelos e modelagem no ensino, em um momento no qual possuíam pouca experiência docente no PUSc? O PUSc é projeto de inovação curricular com ênfase nos modelos e na modelagem científica. O objetivo não foi descrever o conhecimento de cada professor, mas mapear possíveis padrões de conhecimento comuns a diferentes professores. Para tanto, dois instrumentos foram utilizados: (a) uma entrevista semiestruturada para investigar os conteúdos de conhecimento pedagógico em geral e de conhecimento pedagógico sobre modelos e modelagem em particular; e (b) um questionário do tipo Likert de 19 itens (foram usadas apenas duas escalas do instrumento elaborado por Van Driel e Verloop, 1999) para investigar o conhecimento dos professores

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	<p>sobre modelos e modelagem em Ciência. A partir da análise dos dados, dois tipos de conhecimento dos professores emergiram. Eles foram classificados pelos autores em tipo A e tipo B. O conhecimento do tipo A pode ser caracterizado da seguinte forma: (a) em relação ao conteúdo de conhecimento pedagógico em geral, adota uma postura comportamentalista e cognitivista a respeito do ensino e da aprendizagem; (b) em relação às estratégias instrucionais, é um conhecimento sobre multimídias específicas e materiais concretos para favorecer o entendimento dos estudantes do conteúdo dos modelos; (c) em relação ao entendimento dos estudantes, é um conhecimento sobre as dificuldades dos estudantes com o conteúdo de modelos específicos e sobre a incapacidade para conectar modelos com realidade; (d) em relação as formas de avaliar os estudantes, é um conhecimento sobre a verificação do conteúdo do modelo e da aplicação do modelo usando exames escritos, apresentações orais, pôster e relatórios; (e) em relação às metas e aos objetivos de ensino, adota uma visão epistemológica que pode ser entendida como positivista e instrumentalista (conhecimento sobre o uso de modelos para visualizar e explicar fenômenos); e (f) em relação aos modelos e à modelagem científica, adota uma visão epistemológica positivista, combinada com a ideia de que modelos são construídos num contexto social e cultural. O conhecimento do tipo B pode ser caracterizado, em termos dos mesmos aspectos, como sendo: (a) de natureza cognitivista e construtivista a respeito do ensino e da aprendizagem; (b) um conhecimento de tarefas motivadoras e desafiadoras para promover a aprendizagem dos estudantes do conteúdo dos modelos; um conhecimento sobre métodos efetivos para promover o raciocínio dos estudantes sobre modelos (por exemplo, debates, atividades de modelagem, simulação computacional); um conhecimento sobre formas de estimular a criatividade dos estudantes; (c) um conhecimento sobre motivação dos estudantes para descobrir coisas por si mesmos; um conhecimento sobre motivação e habilidades dos estudantes para participar de atividades de modelagem; um conhecimento sobre a afinidade dos estudantes com modelos específicos; (d) um conhecimento sobre como avaliar o conteúdo do modelo, a produção e o raciocínio sobre modelos usando exames, apresentações orais, relatórios, portfólios e observações em grupo; (e) adota uma visão epistemológica instrumentalista e relativista; é um conhecimento sobre o uso de modelos para visualizar e explicar fenômenos; é um conhecimento para obter informação sobre fenômenos que não podem ser observados diretamente; hipóteses derivadas que podem ser testadas; e (f) adota uma visão epistemológica positivista, combinada com a ideia de que modelos são construídos num contexto social e cultural.</p>

Categoria 2 – Reflexões e propostas enfatizando o papel dos modelos e da modelagem científica no Ensino de Física

O Quadro A.2 apresenta os artigos da Categoria 2 que refletem sobre a importância dos modelos e da modelagem científica no Ensino de Física, ordenados pelo ano de publicação.

Quadro A.2. – Autor(es) e ano de publicação, título e resumo dos artigos incluídos na Categoria 2.

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
Cudmani e Sandoval (1991)	<p>Título. <i>Modelo físico e realidade. Importância epistemológica de sua adequação quantitativa. Implicações para a aprendizagem.</i> Resumo. Este artigo analisa a importância do caráter epistemológico que tem a avaliação dos erros de medição para reforçar o grau de objetividade e precisão alcançados nos ‘saltos’, impossíveis de justificar por meio de regras lógicas, entre os fenômenos e suas conceituações, entre os processos de construção do conhecimento físico e seu correspondente contraste e aplicação à realidade. Os autores</p>

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	<p>ênfatisam sobre a conveniência de incorporar às atividades de sala de aula a análise crítica das relações entre modelo e realidade, de modo a favorecer a reflexão e a ação vinculadas a esse importante aspecto metodológico da construção do saber científico.</p>
Hestenes (1992)	<p>Título. <i>Modeling games in the newtonian world.</i> Resumo. O autor defende a ideia de que os princípios básicos da Mecânica Newtoniana podem ser interpretados como um sistema de regras que definem uma mistura de jogos de modelagem. O objetivo comum desses jogos é desenvolver e validar modelos de fenômenos físicos. Segundo o autor, esse pode ser o ponto de partida para uma abordagem promissora no ensino de Física, na qual os estudantes são ensinados desde o início que na ciência ‘modelagem é o nome do jogo’. A ideia é ensinar de forma explícita um sistema de princípios e técnicas de modelagem para familiarizar os estudantes com um conjunto básico de modelos físicos, e favorecer a prática da construção, da validação e do uso de modelos para explicar, prever e descrever os fenômenos físicos. Neste artigo são discutidos os fundamentos físicos, epistemológicos, históricos e pedagógicos dessa abordagem.</p>
Wells, Hestenes e Swackhamer (1995)	<p>Título. <i>A modeling method for high school physics instruction.</i> Resumo. Este artigo descreve a concepção e a implementação de um novo método para o ensino de Física. Nesse método, os estudantes engajam-se ativamente na compreensão do mundo físico através da construção e da utilização de modelos científicos para descrever, explicar, prever e controlar fenômenos físicos. O conteúdo do curso está organizado em torno de um pequeno conjunto de modelos básicos. A instrução é organizada em ciclos de modelagem, nos quais os estudantes se movem de forma sistemática em todas as fases de desenvolvimento, validação e aplicação dos modelos a situações concretas, desenvolvendo habilidades e noções dos procedimentos envolvidos na construção do conhecimento científico. Segundo o autor, há evidências mostrando que esse método de modelagem pode produzir ganhos muito maiores para a compreensão dos estudantes do que outros métodos alternativos de ensino. Conclui-se que a eficácia dessa instrução depende fortemente da competência pedagógica do professor. O problema de cultivar esses conhecimentos entre professores de Física do ensino médio é discutida em profundidade, com recomendações específicas de ações a serem tomadas pela comunidade de educadores em Física.</p>
Krapas et al. (1997)	<p>Título. <i>Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências.</i> Resumo. Partindo da definição de modelo como representação de uma ideia, objeto, evento, processo ou sistema, e de modelagem como o processo de construção de modelos, os autores analisaram o uso e os sentidos desse termo em 130 artigos publicados em quatro periódicos de língua inglesa (<i>International Journal of Science Education, Journal of Research in Science Teaching, Science & Education</i> e <i>Science Education</i>), entre os anos de 1987 a 1996. O trabalho consistiu em classificar os diversos sentidos encontrados nos artigos revisados. Essa classificação deu origem a cinco categorias definidas como: (a) modelo mental, um modelo construído pelo indivíduo e que pode se expressar através da ação, da fala, da escrita, do desenho; (b) modelo consensual, modelo formalizado rigorosamente, compartilhado por grupos sociais com o propósito de compreender/explicar ideias, objetos, eventos, processos ou sistemas; exemplos relevantes para a educação em Ciências são os modelos científicos contemporâneos e do passado; (c) modelo pedagógico, um modelo construído com o propósito de promover a educação; em um sentido amplo, um modelo pedagógico inclui os processos de mediação didática, isto é, os processos de transformação de conhecimento científico em conhecimento escolar; em um sentido estrito, modelo pedagógico se refere à representação simplificada de uma ideia, 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; (d) metamodelo, 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; e (e) modelagem como objetivo educacional, que enfatiza a promoção da competência em construir modelos como propósito central do ensino de ciências. Essa revisão 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.</p>
Gilbert, Boulter e Rutherford (1998a)	<p>Título. <i>Models in explanations, part 1: horses for courses?</i> Resumo. Este é o primeiro de dois artigos em que os autores procuram identificar alguns dos aspectos associados com o</p>

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	papel dos modelos nas explicações científicas. Partindo de uma definição ampla, os autores desenvolveram uma tipologia de explicações e exploraram a noção de adequação das explicações científicas. Algumas características das explicações fornecidas pelos cientistas, currículos de Ciências, professores de Ciências e estudantes de Ciências foram identificadas. Finalmente, a natureza dos modelos e sua contribuição para as explicações são exploradas.
Gilbert, Boulter e Rutherford (1998b)	Título. <i>Models in explanations, part 2: whose voice? Whose ears?</i> Resumo. Este é o segundo de dois artigos em que os autores procuram identificar alguns dos aspectos associados com o papel dos modelos nas explicações científicas. O presente trabalho discute os fatores que podem influenciar a maneira pela qual as explicações são compreendidas e avaliadas em termos da sua adequação aos diversos públicos envolvidos. Esses fatores regulam a gama de quem pode fazer perguntas na Ciência, a natureza das questões que podem ser feitas, os tipos de explicação que são aceitos, e os modelos que podem ser utilizados. Finalmente, algumas formas de melhorar a adequação das explicações são apresentadas.
Greca e Moreira (1998)	Título. <i>Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización.</i> Neste artigo os autores revisam o que a literatura especializada em ensino de Ciências tem entendido por modelos mentais, modelos conceituais e modelização. Adicionalmente, os autores explicitam os aspectos que a linha de investigação conhecida como representações mentais pode contribuir com o ensino e a investigação em Ciências.
Gobert (2000)	Título. <i>Introduction to model-based teaching and learning in science education.</i> Resumo. O autor chama a atenção para o fato de que, até o presente momento, não há uma teoria capaz de dar conta dos processos cognitivos envolvidos na aprendizagem baseada em modelos e da forma como o ensino baseado em modelos deva ser conduzido. Além disso, defende que a aprendizagem baseada em modelos diz respeito à construção de modelos mentais sobre fenômenos e que o ensino baseado em modelos deve ser entendido como a implementação de atividades de aprendizagem e de estratégias instrucionais que tenham como objetivo facilitar a construção de modelos mentais por parte dos aprendizes.
Harrison e Treagust (2000)	Título. <i>A typology of school science models.</i> Resumo. Os autores afirmam que modelagem é a essência do pensamento e do trabalho científico. Porém, normalmente, os estudantes do ensino médio os concebem como brinquedos ou miniaturas de objetos da vida real. Somente poucos estudantes realmente compreendem por que os cientistas usam vários modelos para explicar conceitos. Uma tipologia conceitual de modelos é apresentada e discutida pelos autores a fim de auxiliar os professores a selecionar modelos que sejam adequados à capacidade conceitual de seus estudantes. O artigo recomenda aos professores que discutam o processo de modelagem científica com seus estudantes, incentivando-os a utilizar múltiplos modelos em sala de aula e a compartilhar os significados da noção de modelo através da ferramenta 'Foco, Ação e Reflexão' (FAR).
Justi e Gilbert (2000)	Título. <i>History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'.</i> Resumo. Os autores sugerem que os modelos científicos podem servir de base para a inserção de conteúdos de natureza histórico-epistemológica no currículo das disciplinas científicas como, por exemplo, no caso do átomo. Para tanto, os autores caracterizaram os modelos históricos dessa área (modelos científicos produzidos em contextos específicos no passado e já superados no atual cenário da Ciência), segundo uma abordagem lakatosiana; identificaram a existência de seis modelos atômicos entre os componentes curriculares obrigatórios para o ensino de Ciências, no Brasil e no Reino Unido; analisaram o tratamento dado a esses modelos por diversos livros-texto brasileiros em nível médio; e discutiram o uso de modelos híbridos (modelos que misturam características de diversos modelos históricos distintos) por parte de professores e livros-texto na explicação de conceitos científicos. Com isso, os autores concluem haver a necessidade de mais estratégias didáticas, voltadas para professores de Ciências em geral, que promovam um entendimento dos modelos históricos da disciplina que se quer ensinar. Só assim, gradativamente, os modelos híbridos poderão ser abandonados.
Galagovsky e Adúriz-Bravo (2001)	Título. <i>Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico.</i> Resumo. Neste trabalho os modelos científicos são analisados a partir de uma perspectiva linguística-representacional. Os autores argumentam que alguns modelos didáticos são considerados como meras simplificações dos modelos científicos originais e levados de maneira acrítica para a sala de aula. Além

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	disso, os autores definem e exemplificam o conceito de modelo didático analógico. As ideias apresentadas pelos autores permitem distinguir especialistas (professores) de novatos (estudantes) em termos da riqueza e da fluência das famílias de modelos que utilizam.
Adúriz-Bravo e Morales (2002)	Título. <i>El concepto de modelo en la enseñanza de la física – consideraciones epistemológicas, didácticas e retóricas.</i> Resumo. Os autores argumentam que na literatura especializada em didática da Física existem variadas referências aos conceitos de modelo científico e de modelo didático. Este trabalho tem como objetivo revisar esses dois conceitos, que são formas de representação dos conteúdos científicos da Física. De um ponto de vista epistemológico, os autores se apoiam na ideia de representação, levando em conta a separação entre os distintos níveis de representação desses conceitos. Do ponto de vista didático, apoiam-se no conceito de metacognição, assumindo que a explicitação das operações utilizadas na passagem de um nível de representação a outro aumenta de maneira significativa a aprendizagem em Física. Por fim, de um ponto de vista retórico, invocam o conceito de metáfora, considerando a linguagem analógica como uma ferramenta poderosa para a comunicação de significados físicos.
Medina, Velazco e Salinas (2002)	Título. <i>Control experimental del modelo de péndulo matemático.</i> Resumo. Os autores propõem uma atividade de laboratório voltada para aqueles que já possuem conhecimentos teóricos sobre oscilações mecânicas. Entre os objetivos da atividade estão: (a) a construção de um pêndulo (objeto real) que se comporte como pêndulo simples (modelo teórico); (b) a análise quantitativa do erro introduzido por cada uma das idealizações e aproximações assumidas pelo modelo; e (c) a comparação entre os resultados obtidos por meio da teoria e da experiência para o período de oscilação do pêndulo real. Os autores propõem que seja avaliado o erro introduzido pela idealização que: (a) despreza o atrito entre o fio e o eixo de oscilação do pêndulo; (b) despreza a resistência entre o pêndulo e o meio no qual oscila; (c) considera o fio inextensível e sem massa; e (d) considera a massa pontual; e pela aproximação para pequenos ângulos de oscilação. Os autores apontam ainda que os pressupostos teóricos assumidos pelo pêndulo simples (modelo) podem ser facilmente cumpridos pelo pêndulo (objeto real), com um grau de precisão aceitável, quando esses efeitos puderem ser minimizados. Adicionalmente, sugerem que expressões como ‘pequenas amplitudes’, ‘fio inextensível e sem massa’ e ‘massa pontual’ podem adquirir significados inteiramente distintos daqueles que os estudantes poderiam atribuir-lhes com base meramente em suas definições.
Greca e Santos (2005)	Título. <i>Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química.</i> Resumo. Apoiando-se numa revisão da literatura especializada em ensino de Ciências, as autoras argumentam que o ensino centrado na modelação é considerado como uma das estratégias didáticas mais efetivas para a melhoria da compreensão de conceitos científicos. No entanto, uma análise mais detalhada revela que o que se entende por modelo ou pelo processo de modelação é muito amplo e desconsidera as diferenças entre as especificidades das Ciências. Neste trabalho as autoras discutem as diferenças e as similaridades do processo de modelação em Física e em Química, tomando como referência as diferentes tradições explicativas que nelas surgiram principalmente nos séculos XVIII e XIX. A partir desse estudo, as autoras discutem quais as implicações didáticas de se levar ou não em consideração essas diferenças.
Coll, France e Taylor (2005)	Título. <i>The role of models/and analogies in science education: implications from research.</i> Resumo. Ao discutirem o papel dos modelos e das analogias na educação em Ciências, os autores 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 com 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

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	produzidos em contextos históricos específicos e mais tarde superados podem ser chamados de ‘modelos históricos’. 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.
Justi (2006)	Título. <i>La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos.</i> Resumo. O artigo apresenta uma proposta para planejar o ensino de Ciências de modo a minimizar a ênfase na transmissão de conhecimentos. A proposta visa colocar o estudante no centro do processo de modelagem científica, oportunizando-lhe a manipulação de situações relacionadas com a Ciência que exigem a compreensão de modelos científicos. Segundo a autora, a proposta surge da constatação de que para elaborar estratégias de ensino é necessário levar em consideração aspectos de naturezas distintas, tal como o modelo cognitivo da Ciência que se fundamenta na construção de modelos.
Viau, Moro, Zamorano e Gibbs (2008)	Título. <i>La transferencia epistemológica de un modelo didáctico analógico.</i> Resumo. Os autores argumentam que a linha de pesquisa sobre o ensino e a aprendizagem das Ciências enfocando os modelos analógicos tem se destacado nos últimos anos. Porém, os autores chamam a atenção para o fato de que são poucos os estudos que têm aplicações na sala de aula em nível médio. Apoiando-se no conceito de perfil epistemológico de Bachelard, os autores aprofundam suas ideias sobre o conceito de ‘modelo’ e o redefinem com o objetivo de transpô-lo para o contexto da sala de aula de Ciências. Com isso, apresentam uma proposta, denominada ‘transferência epistemológica’, que permite avaliar em que medida é possível transpor didaticamente a aplicação de modelos didáticos analógicos para a sala de aula de Ciências. Essa proposta permite avaliar o perfil epistemológico alcançado com a transposição dos modelos analógicos.
Hart (2008)	Título. <i>Models in physics, models for physics learning, and why the distinction may matter in the case of electric circuits.</i> Resumo. O autor defende que no caso dos circuitos elétricos os modelos consensuais da Física são altamente abstratos e, conseqüentemente, inacessíveis para os estudantes iniciantes. Adicionalmente, sugere que algumas analogias derivadas historicamente desses modelos consensuais, apesar de serem aceitas em livros-texto, sabidamente não auxiliam os estudantes a compreender os conceitos fundamentais de circuitos elétricos. Neste trabalho o autor se utiliza de critérios retirados da literatura especializada em educação em Ciências para refletir sobre modelos que ele acredita serem valiosos para o ensino de circuitos elétricos. Esses critérios contrastam com as características ontológicas e epistemológicas que caracterizam os modelos consensuais da Ciência, e conduziram o autor a prestar atenção nos modos pelos quais os significados são construídos em Física. Isso sugere que todos os modelos, sejam eles consensuais ou não, podem ser utilizados de forma mais consciente quando são pensados para fins educacionais.
Brewer (2008)	Título. <i>Modeling theory applied: modeling instruction in introductory physics.</i> Resumo. Segundo o autor, a estratégia da modelagem é uma abordagem pedagógica amplamente empregada em outros níveis de ensino, mas não em nível universitário. Este artigo tem como objetivo descrever a natureza do processo de modelagem, voltado para o ensino em nível universitário, e esclarecer o papel dos modelos na instrução em Física. O autor exemplifica ainda o progresso experimentado por uma turma de Física em nível universitário em um ciclo típico de modelagem que inclui: introdução e representação, coordenação de representações, abstração e generalização, e aplicação e aperfeiçoamento de modelos. Os benefícios da instrução baseada na modelagem são discutidos.
Oliva-Martínez e Aragón-Méndez (2009)	Título. <i>Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico.</i> Resumo. Neste trabalho os autores revisam o status dos modelos na Ciência e no ensino de Ciências, destacando o seu papel central no processo de construção dos conhecimentos científicos. Em seguida, analisam a natureza e o papel das analogias como ferramentas que aproximam os estudantes dos modelos empregados na aprendizagem escolar. Finalmente, discutem a utilidade das analogias como instrumento para favorecer a aquisição de procedimentos, atitudes e compromissos epistemológicos relacionados com o processo de modelagem científica, contribuindo assim para o desenvolvimento integral do pensamento modelizador dos estudantes de Ciências.

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009)	<p>Título. <i>Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales.</i></p> <p>Resumo. A partir da perspectiva da didática das Ciências Naturais, os autores revisam a epistemologia recente em busca de uma concepção metateórica para o conceito de modelo científico que tenha valor educativo e que possibilite planejar uma autêntica atividade científica na educação básica. Segundo os autores, a concepção semântica de modelo, especialmente a noção de modelo teórico formulada por Ronald Giere, parece adequada para fazer convergir no ambiente da sala de aula o pensamento teórico, o discurso com híbridos semióticos especializados e a intervenção transformadora sobre o mundo natural.</p>

Categoria 3 – Implementação e resultados de estratégias centradas nos modelos e na modelagem científica no Ensino de Física

O Quadro A.3 apresenta os artigos da Categoria 3 que enfocam os resultados alcançados com a implementação de estratégias didáticas centradas nos modelos e na modelagem científica no Ensino de Física, ordenados pelo ano de publicação.

Quadro A.3 – Autor(es) e ano de publicação, título e resumo dos artigos incluídos na Categoria 3.

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
Halloun (1996)	<p>Título. <i>Schematic modeling for meaningful learning of physics.</i> Resumo. O autor apresenta a ‘modelagem esquemática’ como um referencial epistemológico para o ensino de Física. Na modelagem esquemática, os modelos constituem-se no núcleo do conteúdo do conhecimento científico, e a modelagem no processo para construir e empregar esse conhecimento. Um modelo é definido por sua composição e estrutura, e está situado em uma teoria física de seu domínio e organização. Modelagem envolve a seleção, a construção, a validação, a análise e a implantação de modelos. Dois grupos de estudantes libaneses, um de ensino médio e outro universitário, participaram de cursos de resolução de problemas orientados pela abordagem da modelagem esquemática. Ambos os grupos melhoraram significativamente o desempenho na resolução de problemas em comparação com seus colegas que participaram do grupo de controle.</p>
Halloun (1998)	<p>Título. <i>Schematic concepts for schematic models of the real world: the newtonian concept of force.</i> Resumo. O autor argumenta que na modelagem esquemática, um conceito científico pode ser definido explicitamente por meio de cinco dimensões esquemáticas: domínio, organização, quantificação, expressão e emprego. Com base no nível de comensurabilidade entre conceitos científicos e conceitos dos próprios estudantes, a evolução cognitiva dos estudantes no âmbito científico pode tomar rumos diferentes que variam desde o reforço de conceitos já existentes até a construção de bases completamente novas. Tal evolução se deve a uma instrução centrada no estudante e baseada em modelos. O artigo discute ainda o conceito newtoniano de força para ilustrar como dois grupos de estudantes libaneses desenvolveram esse conceito através da modelagem esquemática.</p>
Redfors e Ryder (2001)	<p>Título. <i>University physics students’ use of models in explanations of phenomena involving interaction between metals and electromagnetic radiation.</i> Resumo. Neste artigo os autores avaliam o uso de modelos por parte de estudantes universitários de Física do terceiro ano para explicar fenômenos que envolvem a interação entre metais e radiações eletromagnéticas. Uma série de modelos científicos estão disponíveis para explicar esses fenômenos. No entanto, as explicações dos estudantes sobre esses fenômenos não costumam se utilizar dos modelos científicos disponíveis no ensino de Física em nível de graduação. O presente estudo envolveu estudantes de seis universidades do Reino Unido e da Suécia. Os estudantes tiveram dificuldades para explicar de forma adequada os fenômenos propostos. Muitos estudantes utilizaram o modelo (de átomo isolado) de Bohr para explicar a emissão de luz nos metais. Os estudantes tendem a não reconhecer que os</p>

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	átomos nos metais interagem de modo a constituírem uma estrutura eletrônica muito diferente daquela de um átomo isolado. Poucos estudantes utilizaram um modelo de forma coerente em suas explicações dos fenômenos propostos. Além disso, os autores concluem que o uso de modelos por parte dos estudantes depende do contexto em que cada fenômeno lhes é apresentado.
Besson e Viennot (2004)	Título. <i>Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: two experimental interventions in solid friction and fluid statics.</i> Resumo. Este artigo analisa a adequação didática de uma proposta que introduziu modelos em uma escala intermediária (mesoscópica) no ensino de duas sequências didáticas: uma que trata da propulsão em sólidos com fricção e a outra que versa sobre estática de fluidos na presença de gravidade. Ambas sequências envolveram estudantes universitários do primeiro ano. Os autores discutem os pontos em comum e as diferenças entre as duas sequências, assim como as características da abordagem mesoscópica. A análise da adequação didática da proposta foi feita com base nas gravações de áudio das discussões em sala de aula e na comparação dos resultados com os grupos de controle através de questionários escritos. As reações dos professores também foram documentadas. Esses elementos levaram os autores a concluir que os modelos mesoscópicos incentivaram os estudantes a produzirem raciocínios mais articulados sobre as situações físicas, auxiliando-os a conciliar uma descrição global com uma análise das interações locais.
Cahyadi e Butler (2004)	Título. <i>Undergraduate students' understanding of falling bodies in idealized and real-world situations.</i> Resumo. Este estudo investiga a compreensão de dezoito estudantes universitários do primeiro ano, ao serem apresentados a um teste escrito composto de duas situações contrastantes de dinâmica: os casos idealizado (sem resistência do ar) e do mundo real de bolas que estão sendo abandonadas ou lançadas. Os autores argumentam que os estudantes estão mais aptos a compreender corretamente os problemas que correspondem aos casos idealizados do que os problemas do mundo real. Para os casos do mundo real, os estudantes compreendem melhor a influência da resistência do ar sobre o tamanho dos objetos do que a sua influência sobre objetos de mesmo tamanho, porém de massas diferentes. Nas entrevistas de acompanhamento, os estudantes relataram que as duas situações, no mesmo teste os incentivou a pensar com mais cuidado. Ao reconhecer a necessidade de incluir a resistência do ar, eles se mobilizaram mentalmente para lidar com as situações. Os autores concluem que o uso de situações contrastantes, ou seja, com e sem idealizações, é uma ferramenta de ensino útil.
Fernández, González e Matarredona (2005)	Título. <i>De los corpúsculos de luz al efecto fotoeléctrico. Una propuesta didáctica con base en la discusión de modelos.</i> Resumo. Os autores propõem uma unidade didática cujos objetivos são: (a) analisar a evolução histórica dos modelos de radiação; (b) produzir uma visão mais adequada sobre a Ciência e a construção do conhecimento científico por parte de estudantes e professores; e (c) construir um modelo de radiação mais próximo daquele aceito atualmente pela comunidade científica, no qual as propriedades dos modelos corpuscular e ondulatório se conjugam em um novo objeto quântico de comportamento dual. Através de quatro atividades se analisa a sequência de modelos propostos ao longo da história para explicar a natureza da luz, desde o modelo corpuscular de Newton ao ondulatório de Huyghens e Young, culminando com a discussão do modelo de fóton proposto por Einstein em sua explicação do efeito fotoelétrico.
Justi e Van Driel (2005)	Título. <i>The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process.</i> Resumo. Os autores afirmam que, apesar da importância que os modelos desempenham na educação científica, as pesquisas têm revelado que o conhecimento (de conteúdo, curricular e pedagógico) dos professores sobre modelos e modelagem é frequentemente incompleto ou inadequado. Um projeto de pesquisa foi conduzido com o objetivo de promover e compreender o desenvolvimento do conhecimento de professores de Ciências nessa área. Os professores envolvidos nesse projeto participaram de um curso sobre modelos e modelagem, e conduziram um projeto de pesquisa sobre esse tema em suas salas de aula. Os dados reunidos nesse projeto ofereceram suporte empírico para que os autores pudessem concluir que tanto as atividades do curso quanto a realização e a reflexão sobre seus projetos de pesquisa contribuíram para o desenvolvimento do conhecimento dos professores. A partir dos resultados, os autores propõem algumas diretrizes para pesquisadores de ensino interessados nessa área.

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
Henze, Van Driel e Verloop (2007b)	<p>Título. <i>The change of science teachers' personal knowledge about teaching models and modelling in the context of science education reform.</i> Resumo. Partindo da premissa de que para aumentar a consciência profissional dos professores é necessário compreender e valorizar seus conhecimentos e crenças pessoais, o presente estudo investigou a mudança no conhecimento de professores sobre modelos e modelagem científica, no contexto de uma reforma educacional na Holanda. O estudo consistiu no acompanhamento de nove professores de Ciências (três de Física, três de Química e três de Biologia) durante os primeiros anos da implementação de um novo currículo com ênfase nos modelos e na modelagem. A coleta de dados foi realizada mediante a aplicação de um instrumento de pesquisa para avaliar o conhecimento dos professores sobre o ensino de modelos e da modelagem, em dois momentos distintos. Entre esses dois momentos, os professores ensinaram a estudantes da educação básica, de seis a nove lições por semana do novo currículo, durante dois anos. Durante a aplicação do instrumento foi solicitado aos professores que avaliassem doze atividades educacionais de modelagem em termos de uma escala de concordância gradual de cinco pontos entre dois extremos (construtos bipolares). A partir dos resultados, três tipos diferentes de conhecimentos pessoais sobre o ensino enfocando modelos e modelagem em Ciências foram identificados, cada um dos quais apresentou alteração significativa ao longo do tempo. O conhecimento do tipo 1 combinou atividades de modelagem realizadas pelos estudantes com a aprendizagem do conteúdo de um modelo específico. No tipo 2, a aprendizagem do conteúdo do modelo era combinada com uma reflexão crítica sobre o papel e a natureza dos modelos na Ciência. Finalmente, no tipo 3, a aprendizagem de conteúdo do modelo envolveu tanto a produção de modelos por parte dos estudantes quanto a revisão de modelos, e uma análise crítica da natureza dos modelos científicos em geral. Ao final, o artigo discute implicações para o desenvolvimento profissional dos professores.</p>
Lopes e Costa (2007)	<p>Título. <i>The evaluation of modelling competences: difficulties and potentials for the learning of the sciences.</i> Resumo. Este artigo tem como objetivos apresentar uma forma de avaliar as competências de modelagem que são relevantes para o ensino de Física e para a pesquisa em educação científica e identificar as potencialidades e limitações no desenvolvimento de competências de modelagem. Um teste escrito, envolvendo uma grande quantidade de aspectos da modelagem no domínio da Mecânica, foi elaborado e validado, e uma metodologia de avaliação embasada teoricamente foi especificada. No processo de validação, o teste foi apresentado a 75 estudantes distribuídos em sete níveis de ensino de Física. As respostas foram analisadas e uma análise de agrupamento foi realizada com o objetivo de identificar categorias de respostas entre os participantes. Os resultados indicam que o teste identificou e delimitou competências de modelagem. Alguns resultados estão de acordo com aqueles obtidos em outros estudos. Já outros elucidam melhor certos aspectos das pesquisas sobre modelagem. O modo como usar a metodologia de avaliação em outras áreas da Física é discutida. Os autores também discutem como as limitações e as potencialidades identificadas no desenvolvimento de competências de modelagem podem ser levadas em consideração no ensino e na aprendizagem de Ciências.</p>
Henze, Van Driel e Verloop (2008)	<p>Título. <i>Development of experienced science teachers' pedagogical content knowledge of models of the solar system and the universe.</i> Resumo. Este artigo investiga o desenvolvimento do conhecimento de conteúdo pedagógico de nove professores de Ciências, com experiência, em seus primeiros anos de ensino de um novo currículo na educação básica alemã. Os autores buscaram identificar o conteúdo e a estrutura desse conhecimento em um tópico específico do novo currículo, modelos do universo e do sistema solar., descrevendo o desenvolvimento desse conteúdo em termos das relações entre quatro aspectos distintos: (a) conhecimento sobre estratégias instrucionais; (b) conhecimento sobre a compreensão dos estudantes; (c) conhecimento sobre avaliação de estudantes; e (d) conhecimento sobre metas e objetivos do tópico no currículo. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas nos três anos letivos subsequentes. A partir da análise dos dados, dois tipos diferentes de conhecimentos dos professores emergiram. O tipo A pode ser descrito como orientado para o conteúdo dos modelos enquanto o do tipo B pode ser caracterizado como orientado para o conteúdo, a produção, e reflexão sobre a natureza dos modelos. Os resultados também indicam que esses dois tipos de conhecimento se desenvolveram qualitativamente de modos distintos.</p>

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
Akerson et al. (2009)	<p>Título. <i>Scientific modeling for inquiring teachers network (SMIT'N): the influence on elementary teachers' views of nature of science, inquiry, and modeling.</i> Resumo. Este artigo resume os resultados de um programa voltado para o desenvolvimento profissional de professores da educação básica que enfatizou a investigação científica e a natureza da Ciência dentro do tema da modelagem científica. Durante uma série de <i>workshops</i>, os professores receberam instrução sobre a abordagem através de ciclos de aprendizagem. Pré e pós-testes avaliaram a visão dos professores sobre a natureza da Ciência, da investigação e da modelagem científica. Os professores melhoraram suas visões sobre a natureza da Ciência e da investigação por meio da inclusão de aspectos da modelagem científica em suas definições de como os cientistas trabalham, da natureza empírica da Ciência, e do papel das observações e das inferências na Ciência. Suas definições de Ciência evoluíram de uma postura baseada no conhecimento para uma postura baseada no processo. Os professores também incluíram fórmulas matemáticas em suas visões sobre o processo de modelagem científica. Os autores concluem que o uso do tema da modelagem científica favoreceu a construção de uma visão mais adequada sobre o processo de investigação e sobre a natureza da Ciência por parte dos professores.</p>

Categoria 4 – Reflexões e propostas enfatizando o papel das simulações e da modelagem computacional no Ensino de Física

O Quadro A.4 apresenta os artigos da Categoria 4 que refletem sobre a importância das simulações e da modelagem computacional no Ensino de física, ordenados pelo ano de publicação.

Quadro A.4 – Autor(es) e ano de publicação, título e resumo dos artigos incluídos na Categoria 4.

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
Santos (1990)	<p>Título. <i>Modelamento computacional através do sistema de modelamento celular (CMS): alguns aspectos.</i> Resumo. O artigo apresenta uma breve descrição do sistema de modelamento celular evidenciando algumas de suas principais características. Adicionalmente, o autor enfatiza a possibilidade de se utilizar a analogia entre estruturas de modelos desenvolvidos em diferentes áreas do conhecimento como um recurso didático no ensino de Física.</p>
Santos (1991)	<p>Título. <i>Alguns aspectos do uso do sistema de modelamento IQON no ensino de física.</i> Resumo. O artigo apresenta algumas atividades que podem ser realizadas com o sistema computacional de modelamento semiquantitativo denominado IQON. Além da breve introdução ao sistema, o autor discute a possibilidade do sistema servir de ponte para o modelamento quantitativo de sistemas. O autor ainda comenta algumas limitações do sistema e os recursos necessários para sua utilização.</p>
Andaloro, Donzelli e Sperandeo-Mineo (1991)	<p>Título. <i>Modelling in physics teaching: the role of computer simulation.</i> Resumo. Este artigo diz respeito à utilização do computador como ferramenta pedagógica para uma estratégia de ensino da Física centrada no desenvolvimento e implementação de modelos computacionais. A importância e o valor do processo de modelagem no ensino de Física é discutida sob dois pontos de vista: (a) o de ensinar Física como ela é praticada hoje em dia; e (b) o de levar em conta as pesquisas em Ciência Cognitiva e aprendizagem. Dois tipos <i>softwares</i> de modelagem são descritos resumidamente: (a) o primeiro sem a necessidade de qualquer competência em programação; e (b) o segundo necessitando apenas de um conhecimento elementar da linguagem Basic.</p>
McKinney (1997)	<p>Título. <i>The educational use of computer based science simulations: some lessons from the philosophy of science.</i> Resumo. Este artigo analisa algumas das potencialidades, e dos problemas, inerentes à utilização de simulações computacionais no ensino de Ciências,</p>

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	valendo-se de alguns ensinamentos da filosofia da Ciência. Segundo o autor, o <i>software</i> de simulação, quando combinado com uma abordagem interrogativa, que interpreta a Ciência como um processo pragmaticamente construtivista, oportuniza a exploração de problemas práticos e conceituais. Contudo, apesar das simulações computacionais serem extremamente úteis como ferramentas pedagógicas, não são experimentos, e, portanto, não podem ser vistas como substitutos dos laboratórios reais.
Santos et al. (2000)	Título. <i>Algumas possibilidades de utilização dos princípios de sistemas de Forrester em tópicos de física, através da ferramenta de modelagem quantitativa Stella.</i> Resumo. O artigo propõe um modo de utilização dos princípios de sistemas de Forrester em alguns conteúdos de Física, através da ferramenta de modelagem quantitativa STELLA.
Santos, Otero e Fanaro (2000)	Título. <i>¿Cómo usar software de simulación en clases de física?</i> Resumo. Neste artigo os autores discutem algumas das vantagens e das desvantagens didáticas do uso de <i>softwares</i> de simulação em Física. As autoras estabelecem relações com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel-Novak-Gowin e com a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird que permitem dar conta da importância da visualização na construção do conhecimento. A análise se dá por meio de exemplos de simulações computacionais, buscando mostrar as diferentes considerações que podem ser feitas, além de algumas recomendações sobre o seu uso. Adicionalmente, as autoras tecem comentários sobre a relação entre simulação e experimento.
Medeiros e Medeiros (2002)	Título. <i>Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física.</i> Resumo. Este artigo aborda a importância das animações e das simulações computacionais no ensino de Física. Uma apresentação das afirmações de alguns de seus defensores é contrastada com as argumentações de parte relevante dos seus críticos. O artigo não tem como objetivo defender o abandono da informática na educação, mas sim refletir criticamente sobre esse tema. Para tanto, os autores discutem os fundamentos educacionais e epistemológicos subjacentes às linhas de argumentação apresentadas. Os autores chamam a atenção para a importância dos pressupostos e dos limites de validade das teorias subjacentes ao desenvolvimento e à implementação das simulações computacionais utilizadas no ensino de Física. O texto conclui enfatizando a importância de não concentrar o ensino da Física exclusivamente na transmissão de informações, mas de ter-se em mente a construção do conhecimento em um contexto mais amplo que englobe os conteúdos e os seus processos de construção.
Veit e Teodoro (2002)	Título. <i>Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio.</i> Resumo. Os autores discutem a importância do processo de modelagem no ensino e na aprendizagem de Física em conexão com os parâmetros curriculares nacionais vigentes para o ensino médio. São apresentadas algumas características do <i>software</i> Modellus, concebido especialmente para a modelagem em Física e Matemática sob uma perspectiva de ensino que enfatiza, no processo de aprendizagem, a exploração e a criação de múltiplas representações de fenômenos físicos e de objetos matemáticos.
Veit, Mors e Teodoro (2002)	Título. <i>Ilustrando a segunda lei de Newton no século XXI.</i> Resumo. Os autores propõem uma forma de ensinar a Segunda Lei de Newton que se utiliza da modelagem computacional, de forma que, além das tradicionais situações lineares, problemas mais reais e atuais possam ser tratados. Ilustra-se com o <i>software</i> Modellus, que permite ao usuário explorar modelos matemáticos baseados em equações diferenciais ou em funções. Para as situações discutidas são apresentadas as equações, os parâmetros e as condições iniciais necessárias para criar e/ou explorar as atividades propostas em outros aplicativos, caso seja de interesse do leitor.
Matzen (2003)	Título. <i>Modelamiento y simulación computacional en la enseñanza y aprendizaje de la física.</i> Resumo. O autor descreve a utilização que tem sido feita do <i>software</i> Modellus e do curso interativo 'Física com computador' disponível na <i>Internet</i> e baseado numa extensa gama de simulações computacionais em forma de <i>applets</i> Java integrados com páginas da <i>web</i> , no Departamento de Física da Faculdade de Ciências Básicas da Universidade Metropolitana de Ciências da Educação, no Chile.
Ezrailson, Allen e Loving (2004)	Título. <i>Analyzing dynamic pendulum motion in an interactive online environment using flash.</i> Resumo. Este artigo trata da possibilidade de simular o comportamento de um pêndulo, assim como de manipular seus parâmetros dinâmicos, em <i>Flash</i> . Os efeitos das mudanças nas propriedades de amortecimento e nas condições iniciais da posição e da

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	velocidade angulares podem ser exploradas. Os movimentos podem ser digitalizados, exportados e graficados. As potencialidades da linguagem <i>Action Script</i> , combinadas com a interatividade proporcionada pelo ambiente <i>Flash</i> , permitem a construção de animações atrativas e matematicamente orientadas. Segundo os autores, a acessibilidade e a natureza interativa da <i>web</i> , a contextualização histórica e as aplicações matemáticas dos pêndulos fazem com essa proposta torne as aulas de Física e de Matemática agradáveis a estudantes e professores.
Araujo, Veit e Moreira (2004)	Título. <i>Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da cinemática.</i> Resumo. Neste artigo os autores analisam as principais dificuldades dos estudantes na interpretação de gráficos da Cinemática e apresentam dois subprodutos de um trabalho de pesquisa voltado para a superação dessas dificuldades. Esses subprodutos dizem respeito a um conjunto de atividades de modelagem computacional complementares às atividades tradicionais de ensino da Cinemática e à validação de um teste sobre o entendimento de gráficos da Cinemática.
Teodoro (2004)	Título. <i>Playing newtonian games with modellus.</i> Resumo. Este artigo é uma breve introdução sobre como usar o <i>software Modellus</i> para criar ‘jogos’ em Física usando as Leis de Newton, que são expressas através de equações diferenciais. O autor argumenta que estudantes do ensino médio ou universitário do primeiro ano ainda não são capazes de resolver sistemas de equações diferenciais. No entanto, com o <i>software Modellus</i> , esse trabalho fica facilitado, bastando: definir a lei da força, calcular sua magnitude e seus componentes, usá-los para obter os componentes de aceleração e, em seguida, os componentes de velocidade. Finalmente, os componentes de velocidade são usados para encontrar as coordenadas do móvel.
Figueira (2005)	Título. <i>Easy java simulations – modelagem computacional para o ensino de física.</i> Resumo. Este trabalho apresenta a ferramenta de <i>software Easy Java Simulations-Ejs</i> . Além de explorar suas principais características e potencialidades na produção de simulações- <i>applets</i> , o autor desenvolve duas atividades de modelagem aplicadas ao ensino de Física: um sistema massa-mola e uma solução numérica da equação de Schrödinger independente do tempo.
Benito, Gras-Marti e Soler-Selva (2005)	Título. <i>Recursos para la enseñanza del péndulo simple: imágenes, mediciones, simulaciones y guías didácticas.</i> Resumo. Os autores argumentam que o estudo do pêndulo simples faz parte de todos os cursos introdutórios de Mecânica Clássica e em todos os níveis de ensino. No entanto, detectam-se deficiências na compreensão desse modelo por parte de estudantes. Os autores entendem que aspectos básicos, como a representação do valor relativo das forças que atuam sobre a massa oscilante, não recebem um tratamento adequado. Alguns erros conceituais dos estudantes podem ser consequência das imagens errôneas ou confusas que os livros-texto de Física Geral apresentam. Por outro lado, sabe-se que o uso de recursos computacionais como, por exemplo, a aquisição automática de dados e as simulações computacionais, combinado com uma metodologia ativa em sala de aula, podem auxiliar a superar tais dificuldades.
Christian e Esquembre (2007)	Título. <i>Modeling physics with easy java simulations.</i> Resumo. Os autores entendem que a estratégia de modelagem favorece o engajamento de estudantes na construção de modelos científicos para descrever, explicar e prever fenômenos físicos. Adicionalmente, os autores argumentam que a estratégia de modelagem não necessita de computadores, porém permite: (a) estudar problemas complexos e que consomem tempo; (b) visualizar resultados com facilidade; e (c) comunicar esses resultados a outros. Por isso, os autores acreditam que atividades que combinam modelagem computacional com teoria e experimento podem favorecer a reflexão e o entendimento de problemas que não seriam possíveis sem o computador. Partindo dessa premissa, os autores apresentam a ferramenta de autoria e modelagem <i>Easy Java Simulations</i> e exemplificam com o modelo de pêndulo simples como ela pode ser utilizada para ensinar conceitos de Mecânica com auxílio do computador.
Schwarz, Meyer e Sharma (2007)	Título. <i>Technology, pedagogy, and epistemology: opportunities and challenges of using computer modeling and simulation tools in elementary science methods.</i> Resumo. Este estudo trata da inserção de ferramentas de simulação e modelagem computacionais em um curso semestral voltado para a formação de professores, no qual são discutidos aspectos pedagógicos e epistemológicos envolvidos no uso de <i>softwares</i> no ensino de Ciências. Os futuros professores fizeram uso dessas ferramentas em suas próprias investigações;

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	discutiram sobre aspectos tecnológicos; e exploraram, avaliaram e ensinaram a seus colegas uma ferramenta de modelagem em especial. Segundo os autores, esses professores ampliaram suas visões acerca dos <i>softwares</i> com que trabalharam, assim como do papel que podem desempenhar no ensino de Ciências. Tal compartilhamento de ideias entre os professores proporcionou um ambiente frutífero para a discussão de questões pedagógicas e epistemológicas.
Blake e Scanlon (2007)	Título. <i>Reconsidering simulations in science education at a distance: features of effective use.</i> Resumo. Este trabalho reconsidera o uso de simulações computacionais no ensino de Ciências. Nele, os autores discutem três estudos sobre o uso de simulações em cursos de graduação a distância. O primeiro deles é sobre uma simulação do comportamento de um pêndulo. A segunda simulação diz respeito ao processo de seleção natural de uma espécie de planta hipotética. A terceira simulação versa sobre o experimento da dupla fenda, que permite o estudo da difração de elétrons nos regimes de fenda dupla e única. Os autores avaliaram o impacto na aprendizagem de 30 estudantes devido às primeiras duas simulações e de 100 estudantes no caso do experimento de dupla fenda. A partir dessas avaliações, os autores apontam um conjunto de características que devem ser respeitadas para o uso efetivo de simulações no ensino a distância. As características incluem o apoio ao estudante, a questão das representações múltiplas e a flexibilidade de adaptação.
Buffler et al. (2008)	Título. <i>A model-based view of physics for computational activities in the introductory physics course.</i> Resumo. O artigo apresenta uma visão da Física centrada na noção de modelo, que serve de base para o delineamento de atividades computacionais visando apresentar aos estudantes uma representação autêntica da Física enquanto disciplina. A proposta de ensino é ilustrada com um estudo de caso dos movimentos de translação e rotação de uma nave-espacial em forma de disco, em nível introdutório de Física na graduação.
Veit, Araujo e Moreira (2008)	Título. <i>Modelamiento computacional en la enseñanza de ciencias.</i> Resumo. Os autores destacam o papel dos modelos científicos, e sua implementação em computador, na aprendizagem das Ciências, especialmente no combate às concepções empiristas/indutivistas acerca da natureza e da produção de conhecimento científico, apesar dos avanços teóricos, filosóficos e metodológicos pelos quais as Ciências Naturais têm passado.

Categoria 5 – Implementação e resultados de estratégias centradas nas simulações e na modelagem computacional no Ensino de Física

O Quadro A.5 apresenta os artigos da Categoria 5 que enfocam os resultados alcançados com a implementação de estratégias didáticas centradas nas simulações e na modelagem computacional no Ensino de física, ordenados pelo ano de publicação.

Quadro A.5 – Autor(es) e ano de publicação, título e resumo dos artigos incluídos na Categoria 5.

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
Weller (1995)	Título. <i>Diagnosing and altering three aristotelian alternative conceptions in dynamics: microcomputer simulations of scientific models.</i> Resumo. Este artigo relata um estudo com o objetivo de diagnosticar e alterar três concepções alternativas aristotélicas mantidas por estudantes de Física da educação básica sobre força e movimento. O pré e o pós-teste foram feitos com base em questões de múltipla escolha apresentadas em computador. Duas simulações de situações idealizadas foram utilizadas para alterar as concepções alternativas dos estudantes. Elas foram assim concebidas para serem percebidas pelos estudantes como errôneas de acordo com as suas concepções aristotélicas. Entrevistas estruturadas foram utilizadas em vários momentos distintos da intervenção para obter evidências sobre as

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	<p>concepções de força e movimento dos estudantes em diferentes níveis de desempenho alcançados, bem como para determinar as reações dos estudantes às questões e às simulações. O fato de um estudante possuir concepções alternativas não estava relacionado com o fato dele ser ou não um bom aluno em Ciências. Estudantes que estavam estudando Dinâmica em sala de aula exibiram um padrão muito diferente de respostas não-científicas no pré-teste do que os estudantes que já tinham visto esse assunto. Os estudantes que já haviam concluído seus estudos sobre Dinâmica e que possuíam concepções alternativas tiveram maior facilidade para alterarem suas concepções ingênuas de forma significativa com base no uso das simulações.</p>
Camacho e Cazares (1998)	<p>Título. <i>Partial possible models: an approach to interpret students' physical representation.</i> Resumo. Este artigo mostra a construção de modelos conceituais sobre pressão e flutuação que fazem uso das ideias prévias de estudantes do ensino médio sobre esses conceitos. As ideias prévias foram analisadas a partir de respostas provenientes de um questionário. Os autores denominam esses modelos de modelos parciais possíveis; suas construções estão baseadas nas ideias prévias que orientam a construção das inferências e suas regras de correspondência (relações entre conceitos), em uma espécie de semiformalismo inferencial. Esses modelos permitem a análise das ideias dos estudantes sobre os fenômenos físicos e reconhecimento da estrutura inferencial por eles utilizada. Os modelos parciais possíveis apresentam um semiformalismo muito útil para entender as diferentes interpretações dos estudantes sobre os fenômenos relacionados com os conceitos de pressão e flutuação. O presente estudo identificou dois modelos parciais possíveis dos estudantes: um para os líquidos e o outro para os gases. Para corroborar as possíveis inferências e previsões dos estudantes frente a situações específicas, os estudantes foram entrevistados sobre os fenômenos físicos. As respostas dos estudantes corresponderam às mesmas inferências construídas com os modelos. O artigo finaliza com algumas considerações em torno da possível utilização de modelos na educação.</p>
Barab et al. (2000)	<p>Título. <i>Virtual solar system project: building understanding through model building.</i> Resumo. Este artigo descreve um curso universitário introdutório de Astronomia no qual os estudantes utilizam ferramentas de modelagem 3-D para modelar o sistema solar e, com isso, desenvolver compreensões acerca dos fenômenos astronômicos. Consistente com um referencial pedagógico participativo, os autores buscaram estabelecer um ambiente capaz de favorecer a investigação científica utilizando os modelos virtuais desenvolvidos pelos estudantes. Neste artigo, os autores se valem de notas de campo, alguns estudos de caso, dados de entrevistas, análises de artefatos e excertos de manuscritos anteriores para situar o leitor no curso. Focalizando principalmente a dinâmica do sistema Terra-Sol-Lua, os autores ilustram o processo de modelagem e como a aprendizagem ocorre nesse contexto. Os autores chegam a conclusão de que a modelagem 3-D pode ser utilizada efetivamente em cursos regulares de graduação como um instrumento através do qual os estudantes podem desenvolver uma compreensão rica de vários fenômenos astronômicos.</p>
Camiletti e Ferracioli (2001)	<p>Título. <i>A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de física.</i> Resumo. Este artigo apresenta os resultados preliminares de uma investigação sobre a integração de ambientes de modelagem computacional na aprendizagem de Ciências. Os resultados estão relacionados com a interação e o desempenho de estudantes do ensino superior durante a utilização do ambiente de modelagem computacional quantitativo <i>STELLA</i> em uma atividade de conteúdo específico em Física.</p>
Camiletti e Ferracioli (2002)	<p>Título. <i>A utilização da modelagem computacional semiquantitativa no estudo do sistema mola-massa.</i> Resumo. O artigo apresenta resultados de uma investigação sobre a integração de ambientes de modelagem computacional ao aprendizado exploratório de Física. Os resultados dizem respeito ao estudo da interação e do desempenho de estudantes do ensino superior durante a utilização do ambiente de modelagem computacional semiquantitativo <i>WLinkIt</i> em uma atividade de conteúdo específico em Física: o sistema mola-massa. Tais resultados apontam que os estudantes apresentaram habilidades para desenvolver um modelo sobre a situação proposta, relacionar o comportamento apresentado pelo modelo com o esperado por eles, alterar o modelo e explicar o comportamento apresentado pelas variáveis envolvidas. Por outro lado, os estudantes apresentaram dificuldades relacionadas à delimitação do sistema a ser modelado, à influência de uma variável sobre a outra e ao entendimento de quem é o agente causal do sistema, do vínculo</p>

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	entre duas variáveis e de alguns conceitos envolvidos. Segundo os autores, o mapeamento desses aspectos é fundamental para o delineamento de pesquisas futuras que busquem promover, na prática, a integração de ambientes de modelagem computacional semiquantitativos na sala de aula, especialmente no estudo de tópicos de Física.
Keating et al. (2002)	<p>Título. <i>The virtual solar system project: developing conceptual understanding of astronomical concepts through building three-dimensional computational models.</i></p> <p>Resumo. Este artigo relata um estudo que avaliou as mudanças na aprendizagem de conceitos de Astronomia por parte de estudantes universitários de graduação, como resultado da participação em um curso introdutório de Astronomia experimental no qual eles construíram modelos computacionais 3-D para diferentes fenômenos astronômicos. Os autores avaliaram a compreensão conceitual dos estudantes em relação a três fenômenos astronômicos fundamentais: as causas dos eclipses lunares e solares, as causas das fases da lua, e as razões para as estações do ano. As entrevistas realizadas no início do curso identificaram uma série de concepções alternativas apresentadas pelos estudantes e já identificadas na literatura sobre a dinâmica e a mecânica do sistema solar. Os autores também apresentam uma concepção alternativa que não estava previamente identificada na literatura e que foi utilizada para explicar os eclipses lunares. As entrevistas realizadas no final do curso permitiram uma avaliação quantitativa e qualitativamente acerca da evolução conceitual dos estudantes. No geral, os resultados do estudo revelam que a modelagem computacional 3D pode ser uma ferramenta poderosa para apoiar o processo de conceitualização por parte dos estudantes acerca de fenômenos científicos abstratos. No entanto, houve casos em que a compreensão conceitual dos estudantes era incompleta e frequentemente hibridizadas com as suas concepções alternativas já existentes. Esses resultados têm influência significativa sobre quando e em que domínios a modelagem computacional 3-D pode ser usada para favorecer o entendimento conceitual de estudantes em Astronomia.</p>
Stylianidou, Boohan e Ogborn (2004)	<p>Título. <i>Science teachers' transformations of the use of computer modeling in the classroom: using research to inform training.</i></p> <p>Resumo. Este artigo relata uma pesquisa sobre a natureza das transformações experimentadas por um grupo de professores no que se refere ao uso da modelagem computacional em sala de aula, e o desenvolvimento de materiais relacionados à formação desses professores. Oito estudos de caso de professores ajudaram a identificar os fatores que favorecem ou dificultam a implantação de ferramentas informáticas inovadoras nas aulas de Ciências, e a mostrar como os professores incorporam essas ferramentas no currículo. Os materiais de treinamento utilizam os resultados no sentido de possibilitarem a elaboração de atividades que permitam aos professores aprender sobre as ferramentas e sobre os resultados de pesquisa da sua implantação.</p>
Crawford e Cullin (2004)	<p>Título. <i>Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science.</i></p> <p>Resumo. Os autores 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. As questões de pesquisa deste estudo dizem respeito: ao 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 acerca de fenômenos do mundo real, há evidências de que os professores desenvolveram modos mais articulados de se expressarem sobre os modelos científicos. Contudo, os resultados não demonstraram indícios significativos sobre a intenção dos futuros professores de ensinar seus estudantes a respeito de modelos.</p>
Hansen et al. (2004a)	<p>Título. <i>The impact of three-dimensional computational modeling on student understanding of astronomical concepts: a quantitative analysis.</i></p> <p>Resumo. Este estudo utilizou uma abordagem de investigação multimétodo que envolve tanto dados quantitativos (HANSEN et al., 2004a) quanto qualitativos (HANSEN et al., 2004b) para analisar a compreensão conceitual dos estudantes acerca de fenômenos astronômicos, relativo a duas experiências de ensino diferentes. Para tanto, os autores compararam estudantes que construíram modelos computacionais 3-D com estudantes que passaram por uma instrução tradicional</p>

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	(baseada em aulas expositivas). Uma análise quantitativa dos dados obtidos com entrevistas realizadas antes e depois da instrução revelaram que o processo de construção de modelos computacionais facilitou a compreensão dos estudantes acerca de conceitos envolvidos com o conhecimento do espaço (distâncias, perspectivas e posição relativa dos corpos celestiais). Já os estudantes que passaram pelas técnicas tradicionais de instrução tiveram maior facilidade de compreensão do conhecimento orientado para os fatos e propriedades acerca dos corpos celestes.
Hansen et al. (2004b)	Título. <i>The impact of three-dimensional computational modeling on student understanding of astronomical concepts: a qualitative analysis</i> Resumo. Este artigo, o segundo de uma série, enfoca as diferenças qualitativas na aprendizagem conceitual ao comparar estudantes que participaram de um curso tradicional e um curso de Astronomia experimental baseado na resolução de problemas e na modelagem como dinâmica, através de um software de modelagem computacional 3-D. Os autores concluíram que os estudantes que construíram modelos computacionais tendem a ter uma compreensão mais sofisticada da dinâmica das relações espaciais, enquanto os estudantes do ensino tradicional desenvolveram uma compreensão mais precisa das propriedades e fatos gerais e valores a respeito dos corpos celestes.
Rampinelli e Ferracioli (2006)	Título. <i>Estudo do fenômeno de colisões através da modelagem computacional quantitativa.</i> Resumo. Este artigo descreve um estudo sobre a utilização da modelagem computacional quantitativa por estudantes universitários no estudo do tópico de Física sobre colisões como estratégia de integração da tecnologia da informática ao aprendizado exploratório em Ciências. Os resultados indicam que a modelagem computacional adequadamente estruturada através de atividades específicas pode levar o estudante a refletir sobre os conceitos científicos abordados e suas concepções.
Dorneles, Araujo e Veit (2006)	Título. <i>Simulação e modelagem computacionais no auxílio de conceitos básicos de eletricidade: parte I – circuitos elétricos simples.</i> Resumo. Neste artigo os autores analisam diferentes concepções e raciocínios de estudantes universitários sobre conceitos básicos envolvidos em circuitos elétricos simples e que se tornam obstáculos para a sua aprendizagem. Adicionalmente, os autores apresentam um produto de um trabalho de pesquisa que consiste em um conjunto de atividades de simulação e modelagem computacionais, desenvolvidas com o <i>software</i> Modellus, levando em conta tais dificuldades, com o objetivo de auxiliar os estudantes a superá-las.
Gomes e Ferracioli (2006)	Título. <i>A investigação da construção de modelos no estudo de um tópico de física utilizando um ambiente de modelagem computacional qualitativo.</i> Resumo. Neste artigo os autores relatam um estudo que investigou a interação de estudantes universitários de Ciências Exatas com o ambiente de modelagem computacional qualitativo <i>WorldMaker</i> em atividades de modelagem expressiva (de criação). Os resultados obtidos mostram que os estudantes foram capazes de criar e modificar o modelo do sistema proposto, a partir da reflexão de suas próprias concepções.
Araujo, Veit e Moreira (2007)	Título. <i>Simulações computacionais na aprendizagem da lei de Gauss para a eletricidade e da lei de Ampère em nível de física geral.</i> Resumo. O objetivo deste trabalho foi analisar o processo de ensino-aprendizagem de Física através de uma abordagem que envolveu o uso de simulações computacionais sobre a Lei de Gauss para a eletricidade e sobre a Lei de Ampère e de um método colaborativo presencial como dinâmica de base para o estabelecimento de relações interpessoais entre o professor e a turma, e os alunos entre si. A fundamentação teórica adotada esteve baseada na teoria de Ausubel sobre aprendizagem significativa e na teoria de Vygotsky sobre interação social. Os resultados sugerem que as atividades de simulação computacionais são potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa em Física, principalmente no que tange às possibilidades de visualização de elementos que contribuem para a reificação de conceitos abstratos. Sugerem, também, que as atividades colaborativas presenciais contribuem positivamente para esse tipo de aprendizagem ao centrar o processo de ensino no estudante.
Sánchez (2007)	Título. <i>Animaciones modellus y videos de experiencias de laboratorio para dar un nuevo impulso a la enseñanza de la mecánica newtoniana.</i> Resumo. Este artigo propõe um conjunto flexível de materiais voltados tanto para o ensino da Mecânica Newtoniana em nível secundário quanto universitário, que reconhece avanços consolidados do ensino por investigação e, adicionalmente, incorpora elementos das tecnologias de informação e comunicação no ensino de Ciências, tais como animações Modellus e vídeos de

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	experiências de laboratório. O material, editado em formato CD-ROM, inclui: (a) unidades didáticas desenvolvidas na forma de programas-guia de atividades vinculadas a documentos de apoio à docência, vídeos e animações computacionais; (b) 50 animações elaboradas pelo autor relacionadas a conceitos, experiências de laboratório e problemas de investigação e que podem ser modificadas tanto pelo professor quanto pelos estudantes; (c) 14 clipes de vídeo de experiências de laboratório, muitos deles combinados com animações computacionais; e (d) uma apresentação em <i>PowerPoint</i> na qual se estabelecem vínculos entre as atividades e possibilita ao interessado obter uma visão geral da proposta de ensino.
Dorneles, Araujo e Veit (2008)	Título. <i>Simulação e modelagem computacionais no auxílio de conceitos básicos de eletricidade: parte II – circuitos RLC.</i> Resumo. Neste artigo os autores analisam o comportamento da energia eletromagnética em circuitos do tipo RLC. Além disso, discutem as principais dificuldades dos estudantes na aprendizagem de conceitos básicos envolvidos nesse tipo de circuito e apresentam dois produtos de um trabalho de pesquisa: (a) um conjunto de atividades de simulação e modelagem computacionais propostas com o <i>software</i> Modellus levando em conta tais dificuldades, com o objetivo de auxiliar o estudante a superá-las; e (b) um teste para avaliar a compreensão dos conceitos físicos envolvidos no estudo de circuitos RLC.
Araujo, Veit e Moreira (2008)	Título. <i>Physics students' performance using computational modelling activities to improve kinematics graphs interpretation.</i> Resumo. O objetivo deste estudo foi investigar o desempenho de estudantes de graduação em atividades complementares de modelagem computacional para melhorar a aprendizagem em Física, utilizando o <i>software</i> Modellus. Interpretação de gráficos da Cinemática foi o tópico de Física escolhido para a investigação. O referencial teórico adotado baseou-se na modelagem esquemática de Halloun e na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Os resultados evidenciam que houve uma melhora estatisticamente significativa no desempenho dos estudantes do grupo experimental quando comparados com os do grupo de controle, submetidos apenas ao método de ensino convencional. A percepção dos estudantes com relação aos conceitos e relações matemáticas, bem como a motivação para aprender, devido às atividades computacionais, desempenharam um papel fundamental nesses resultados.
Barneto e Raya (2008)	Título. <i>Efecto de las simulaciones interactivas sobre las concepciones de los alumnos en relación con el movimiento armónico simple.</i> Resumo. Os autores afirmam que muitos estudantes universitários mantêm concepções equivocadas acerca do movimento harmônico simples. Além disso, alegam que tem sido possível verificar que, associado a esse fato, os estudantes sustentam a ideia de que as simulações computacionais, apesar de facilitar a compreensão de conceitos físicos, não podem ser modificadas. Entre os estudantes investigados neste estudo foi possível distinguir três níveis de conceitualização a respeito do movimento harmônico simples: (a) um nível em que não compreendem o significado das grandezas físicas que descrevem o fenômeno físico, respondendo guiados pela intuição; (b) um nível em que, apesar de usarem com propriedade tais grandezas físicas, raciocinam como se o movimento fosse uniforme; e (c) um nível em que os modos de raciocínio são coerentes com o conhecimento físico estabelecido.
McKagan, Perkins e Wieman (2008)	Título. <i>Why we should teach the Bohr model and how to teach it effectively.</i> Resumo. Os autores chamam a atenção para o fato de que alguns pesquisadores em educação têm afirmado que não se deve ensinar o modelo de Bohr do átomo, pois ele inibe a capacidade dos estudantes para aprender a verdadeira natureza quântica dos elétrons em átomos. Nesse artigo os autores apresentam um estudo concebido para testar essa afirmação através do desenvolvimento de um módulo instrucional sobre modelos atômicos, incluindo os modelos de Bohr e de Schrödinger. Para tanto, os autores analisaram as descrições sobre os átomos dos estudantes em exames finais disciplinas de Física Moderna que utilizaram várias versões desse módulo instrucional. Os autores descobriram que se o módulo instrucional não é capaz de estabelecer uma ligação entre os diversos tipos de modelos atômicos, muitos estudantes permanecem com a visão do átomo de Bohr ao invés do átomo de Schrödinger. No entanto, com um módulo instrucional capaz de integrar os diferentes modelos atômicos é possível que mais estudantes descrevam o átomo utilizando o modelos de Schrödinger. Ao comparar os resultados desse estudo com os de outras pesquisas, os autores entendem que a comparação e a contrastação entre os modelos é o aspecto-chave para um módulo instrucional auxiliar os estudantes a desenvolverem uma visão do átomo que pode ir de Bohr a Schrödinger.

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
Schwarz (2009)	<p>Título. <i>Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry.</i> Resumo. Este artigo relata uma série de três estudos (ciclos de investigação) com o objetivo de preparar professores da educação básica para: (a) ensinar Ciências efetivamente, (b) motivar os seus estudantes, (c) organizar a instrução e (d) estabelecer um ambiente de aprendizagem produtivo. Para tanto, os professores foram incentivados a refletir sobre esses problemas da prática docente através de uma estratégia centrada na modelagem. No primeiro ciclo os professores foram apresentados a diversos <i>softwares</i> de modelagem e simulação computacionais, em um esforço para avançar o entendimento da Ciência e tecnologia; o segundo ciclo utilizou um referencial instrucional que incorporou a investigação centrada na modelagem, com o intuito de avançar seus pontos de vista sobre o ensino de Ciências e as práticas eficazes no planejamento de aulas; e o terceiro ciclo foi delineado para engajar os professores na análise e na modificação de materiais curriculares com base em critérios baseados em reformas que promovem o uso de materiais curriculares eficazes. Os resultados desses ciclos de investigação indicam que os professores progrediram em seus conhecimentos e práticas dentro de uma abordagem coerente, focada na prática científica da modelagem, favorecendo a aplicação de ferramentas robustas propostas em referenciais instrucionais de reformas.</p>

Categoria 6 – Embasamentos epistemológicos sobre modelos e modelagem científica

O Quadro A.6 apresenta os artigos da Categoria 6 que enfocam os fundamentos epistemológicos sobre modelos e modelagem científica, ordenados pelo ano de publicação.

Quadro A.6 – Autor(es) e ano de publicação, título e resumo dos artigos incluídos na Categoria 6.

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
Kipnis (1998)	<p>Título. <i>Theories as models in teaching physics.</i> Resumo. O autor afirma que a discussão das teorias científicas em profundidade, incluindo a sua origem, desenvolvimento, e substituição por outras teorias, pode auxiliar os estudantes a compreender os aspectos objetivos e subjetivos do processo de construção do conhecimento científico. Adicionalmente, defende que essa tarefa pode ser facilitada na medida em que as teorias são apresentadas como modelos, tendo em vista o número considerável de modelos com que nos brinda a história da Ciência. O artigo ainda apresenta exemplos que têm sido utilizados em cursos de formação de professores de Ciências.</p>
Niaz (1999)	<p>Título. <i>The role of idealization in science and its implications for science education.</i> Resumo. Este artigo tem como objetivo estudar o papel da evidência empírica na interpretação dos aspectos psicológicos e epistemológicos da teoria piagetiana. De acordo com a metodologia de Galileu, tendo formulado a questão corretamente, o cientista busca o controle experimental da situação em questão e observa o que ocorre com a variável dependente, tentando aproximar a situação real do caso ideal. De acordo com Galileu, as leis científicas são construções epistemológicas que não descrevem o comportamento de corpos reais. O autor sugere que, de forma análoga ao que ocorre nos experimentos idealizados de Galileu, que só podem ser verificados quando todos os impedimentos são retirados, os indivíduos só podem aproximar-se do sujeito epistêmico de Piaget, quando esses impedimentos puderem ser gradualmente removidos através de manipulação experimental.</p>
Pietrocola (1999)	<p>Título. <i>Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos.</i> Resumo. Neste artigo o autor tece críticas ao movimento construtivista, que em sua avaliação supervaloriza o papel das construções individuais, em detrimento da dimensão ontológica do conhecimento científico. A argumentação desenvolvida pelo autor toma por base alguns trabalhos críticos dirigidos ao movimento construtivismo e uma análise da recepção das ideias de Thomas Kuhn pelas pesquisas em ensino de Ciências. Uma das conclusões aponta que o construtivismo não valoriza suficientemente a apreensão de uma realidade associada ao mundo físico. Isso acaba se</p>

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	refletindo num enfraquecimento do conhecimento científico frente a outras formas de conhecimento, instituindo uma espécie de relativismo epistemológico entre as diversas formas de conhecer. Seguindo nessa linha de raciocínio, o autor apresenta as ideias de Mario Bunge sobre o papel dos modelos na Ciência e sua vinculação com a realidade. Desse modo, visa minimizar excessos contidos nas teses construtivistas e realistas, ou seja, a tendência de vislumbrar toda construção humana como atividade desvinculada da dimensão ontológica do mundo e todo realismo como expurgo da ação humana.
Concari (2001)	Título. <i>Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias.</i> Resumo. Este artigo aborda o problema da explicação científica, analisando distintas posições epistemológicas sobre o tema e enfatizando o papel desempenhado pelas teorias e pelos modelos nas explicações científicas, assim como suas implicações para a educação em Ciências. Partindo da premissa de que as explicações dadas pelos estudantes podem ser melhoradas na medida em que empregam modelos científicos adequados, a autora propõe a adoção de critérios para a seleção de modelos a serem abordados no ensino de Ciências.
Cupani e Pietrocola (2002)	Título. <i>A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências.</i> Resumo. Os autores abordam a epistemologia de Mario Bunge e sua relevância para o enfrentamento de alguns problemas que persistem no ensino de Ciências. Em particular, os autores apresentam a forma como Bunge concebe as relações entre o conhecimento científico e o mundo real através da produção de leis, teorias e modelos científicos. Além disso, os autores entendem que as explicações ocupam um lugar de destaque na obra desse filósofo da Ciência e apontam implicações importantes para o ensino de Ciências.
Grandy (2003)	Título. <i>What are models and why do we need them?</i> Resumo. Este artigo ocupa-se da discussão de como devem ser concebidos os modelos no contexto do ensino de Ciências. O autor está interessado em discutir quando e por que é necessário fazer a transição dos modelos mentais (implícitos) para os modelos externos (explícitos). Para tanto, explora duas teorias/modelos em Física. Uma diz respeito a objetos em rotação. A outra versa sobre densidade e flutuação. A argumentação do autor culmina com a proposição de dois enunciados sobre os modelos científicos no contexto da Física: (a) os modelos da Física são com frequência matemáticos, e se isso está correto, mais atenção deveria ser dada à integração entre Matemática e Ciência nos currículos; e (b) os modelos são importantes em Física quando se deseja representar uma propriedade do mundo real que requer uma equação cujas variáveis que nela ocorrem não se somam linearmente.
Westphal e Pinheiro (2004)	Título. <i>A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o ensino de ciências.</i> Resumo. Os autores apresentam parte da epistemologia de Mario Bunge, sua preocupação com a crise que se instaurou sobre a Ciência e com o avanço de visões relativistas como as de Kuhn e Feyerabend. Destacam-se, ainda, as divergências de opiniões e as muitas críticas que esse filósofo da Ciência desenvolve no anseio por um retorno ao realismo ontológico – seu maior interesse – razão de um progresso científico coeso e de uma aproximação consistente com a verdade. Adicionalmente, os autores fazem referência ao uso de tal epistemologia no ensino de Ciências, mostrando o seu benefício, em contraste àquelas antirealistas, quando se pensa nos estudantes, em seus interesses e nas possíveis mudanças conceituais que são o objetivo de qualquer forma de ensino.
Nola (2004)	Título. <i>Pendula, models, constructivism and reality.</i> Resumo. O autor argumenta que Galileu fez um importante avanço na metodologia da Ciência, ao considerar modelos idealizados de fenômenos que podem ser confrontados com a experiência. Os modelos idealizados são construtos que se originam dos processos de raciocínio aplicado à situação em questão. Desse ponto de vista, o conhecimento científico não pode ser visto como uma construção independente da experiência, como afirmam muitos construtivistas em relação aos métodos da Ciência e à aprendizagem da Ciência. Na verdade, os modelos de Galileu podem, dependendo do seu grau de idealização ou de concretização, contradizerem a experiência. Este artigo discute o que se entende por idealização e concretização de objetos e propriedades que compõem os modelos teóricos e as leis ideais que os governam. O autor também fornece exemplos de leis ideais e de como elas podem ser mais concretas, e considera como as teorias e os modelos podem ser testados contra aquilo que observamos. Finalmente, algumas dificuldades são levantadas ao se adotar uma postura construtivista radical da Ciência e sua aprendizagem à luz da abordagem metodológica de Galileu. O resultado é que tanto a estrutura do diálogo dos escritos de Galileu quanto o seu método de

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	<p>construção de modelos oferecem um recurso frutífero para a educação científica que rivaliza com as ideias do construtivismo, e, ao mesmo tempo apresenta uma visão do que ocorre em termos procedimentais na Ciência moderna.</p>
Matthews (2004)	<p>Título. <i>Idealisation and Galileo's pendulum discoveries: historical, philosophical and pedagogical considerations.</i> Resumo. O autor argumenta que a descoberta de Galileu sobre o movimento do pêndulo deve-se à adoção de uma nova metodologia de idealização. As leis de Galileu para o movimento do pêndulo não puderam ser aceitas até que os vínculos com a metodologia empirista impostos por Aristóteles, e pelo senso comum, fossem derrubados. Enquanto as afirmações científicas eram avaliadas de acordo com o modo como o mundo comportava-se, bem como a Matemática e a Física eram mantidas em separado, as afirmações de Galileu sobre o pêndulo não puderam ser corroboradas; as evidências eram contra elas. Para a corroboração das leis do pêndulo foi necessária não só uma nova forma de fazer Ciência, como uma nova maneira de lidar com as evidências, uma nova metodologia da Ciência. Esse foi o método inaugurado por Galileu. Foi a base do paradigma galileano-newtoniano que caracterizou a revolução científica do século 17, e dos séculos posteriores da Ciência moderna. Como o pêndulo foi fundamental para a Física de Galileu e de Newton, o autor defende que a valorização do papel da idealização nesses trabalhos é um caminho instrutivo para aprender sobre a natureza da Ciência.</p>
Matthews (2007)	<p>Título. <i>Models in science and in science education: an introduction.</i> Resumo. O autor entende que a importância dos modelos na história e na prática científica atual é amplamente reconhecida. Na metade do século passado, historiadores e filósofos da Ciência dedicaram considerável tempo para documentar e compreender o papel dos modelos nas Ciências Naturais e Sociais. Porém poucos estudos ocuparam-se com a questão do status/verdade dos modelos, e como os modelos se relacionam, ou não, com os processos do mundo real que eles supostamente representam. Já na educação em Ciências, há uma linha de pesquisa que investiga o uso de modelos como recursos para auxiliar a memória, como formas de fazer a ponte entre a experiência e o conhecimento dos estudantes e as teorias mais abstratas da Ciência; e há também uma série de pesquisas sobre a eficácia de estratégias que privilegiam a construção e o teste de modelos por parte de crianças. O autor sugere que também seja dada atenção às questões epistemológicas acerca dos modelos, pois nunca se deu tanta importância como se está dando para o construto 'natureza da Ciência' nos currículos de Ciências em todo o mundo.</p>
Portides (2007)	<p>Título. <i>The relation between idealisation and approximation in scientific model construction.</i> Resumo. As noções de idealização e de aproximação estão fortemente associadas à questão de como as teorias representam os fenômenos. Embora não haja um consenso entre os filósofos sobre a natureza do processo de idealização e de como ele afeta as representações teóricas, a educação em ciências só tem a ganhar com reflexões de natureza epistemológica sobre esse tema, especialmente no que diz respeito às estratégias didáticas centradas no processo de modelagem científica. Tradicionalmente, as metodologias de ensino tratam da questão da divergência entre as predições teóricas e os dados obtidos da experimentação apelando para a noção do senso comum de aproximação. O autor defende que o uso desse conceito para explicar as discrepâncias entre teoria e experimento obscurece a relação entre teoria/experimento. Adicionalmente, o autor defende que, do ponto de vista da modelagem científica, as aproximações dependem ou são trazidas a reboque pelas idealizações.</p>
Develaki (2007)	<p>Título. <i>The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes.</i> Resumo. A teoria dos modelos, na filosofia da Ciência contemporânea, interpreta as teorias científicas como conjuntos de modelos e, segundo a autora, contribui significativamente para a compreensão da relação entre teorias, modelos e o mundo real. O esclarecimento dessa relação é fundamental para a compreensão da natureza dos métodos e do conhecimento científico, e pode contribuir para a formatação de modelos educacionais epistemologicamente pertinentes para a educação científica. Neste artigo a autora busca reconstruir as contribuições mais importantes da visão baseada em modelos, principalmente aquelas associadas à natureza, à construção e às funções dos modelos teóricos. Seu interesse centra-se especialmente na visão baseada em modelos de Ronald Giere, a qual se utiliza da estruturação dos modelos da Mecânica Clássica, e que a autora entende que também pode servir de base para a estruturação dos modelos da Mecânica Quântica. A autora considera ainda que esta visão fornece uma base adequada para a estruturação de</p>

Autor(es) (Ano de publicação)	Título e Resumo
	conteúdos da Ciência escolar; e propõe uma forma de estruturar os conteúdos de Física em geral, na qual os temas são apresentados como modelos teóricos da mesma teoria, juntamente com as regras de modelagem que levaram à sua construção, e também alguns exemplos de sua aplicação empírica.
Koponen (2007)	Título. <i>Models and modelling in physics education: a critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions.</i> Resumo. A visão baseada em modelos da educação em Ciências, a qual enfatiza a autenticidade no ensino de Ciências, apoia-se na visão semântica das teorias. Seus avanços recentes constituem-se em passos promissores rumo ao estabelecimento de um referencial filosófico robusto. Porém, o autor entende que se faz necessário revisar os seus pressupostos filosóficos na medida em que se pretende aplicá-los ao ensino de Física. O autor sugere, então, que atenção especial seja dada à noção de confiabilidade empírica dos modelos e na modelagem, e à questão metodológica de como essa confiabilidade empírica é estabelecida no processo de contrastação entre teoria e experimento. A imagem sugerida, destinada para fins de formação de professores de Física, substitui os atuais referenciais epistemológicos usados no ensino de Ciências por outro de maior amplitude, segundo o autor. Além disso, a revisão proposta propicia uma imagem mais autêntica da física enquanto ciência e da atividade de modelagem enquanto prática científica do que outras posições que possam ser adotadas no ensino de Ciências.
Silva (2007)	Título. <i>The role of models and analogies in the electromagnetic theory: a historical case study.</i> Resumo. Apesar de sua grande importância, muitos estudantes e mesmo seus professores não reconhecem a importância dos modelos para a construção do conhecimento em Física e são incapazes de desenvolver explicações qualitativas para expressões matemáticas dentro da Física. Assim, não é uma surpresa que as analogias tenham um papel importante na educação em Ciências, visto que a construção dos modelos mentais dos estudantes a respeito de fenômenos abstratos precisam estar enraizadas em algum tipo de experiência já existente ou anterior, a fim de que possam interpretar as ideias mais complexas. O presente artigo centra-se em algumas dessas questões e analisa alguns casos específicos do desenvolvimento histórico da teoria eletromagnética. Valendo-se do referencial dos modelos mentais, a autora enfatiza a importância das analogias mecânicas para compreender alguns dos conceitos eletromagnéticos.
Lattery (2008)	Título. <i>The long decay model of one-dimensional projectile motion.</i> Resumo. Este artigo apresenta um estudo sobre a formação e o desenvolvimento de um modelo em Mecânica por parte de estudantes. Como ponto de partida, o autor analisa em detalhes o modelo de decaimento para o movimento de projétil unidimensional. O autor argumenta que esse modelo foi pensado por Galileu e tem sido utilizado pelos atuais estudantes.

APÊNDICE B

Neste apêndice são apresentados o questionário aplicado no início do curso a distância, a sequência de tarefas propostas e de materiais utilizados ao longo do mesmo e o roteiro da entrevista semiestruturada realizada com cada um dos oito alunos que participaram como sujeitos da pesquisa no Estudo I.

Questionário

- 1) O que você entende por modelo científico? Justifique sua resposta dando um exemplo.
- 2) O que você entende por teoria científica? Justifique sua resposta dando um exemplo.
- 3) No contexto da Ciência, o que você entende por verdade? Em outros termos, existem teorias científicas verdadeiras?
- 4) Do seu ponto de vista, qual o objetivo maior da Ciência?
- 5) Do seu ponto de vista, o que distingue o conhecimento científico de outras formas de conhecimento?

Sequência de tarefas propostas e de materiais utilizados

Quadro B.1 - Curso a distância ‘Fenômenos físicos e modelos científicos’.

Modalidade (Duração)	Tarefas e materiais
Presencial (3 h)	Apresentação da infraestrutura virtual do curso. Aplicação do questionário sobre modelos, teorias e conhecimento científico. Aula – A construção do conhecimento: o papel das teorias e dos modelos científicos. Texto de apoio 1 – Conhecimento científico: uma construção humana. Texto de apoio 2 – Fenômenos físicos e modelos científicos.
Virtual assíncrona (2 h)	Tarefa 1 – Leitura de um trecho extraído da obra de Gaspar (2000, p. 15) sobre a natureza e o papel dos modelos em Física. Tarefa 2 – Formulação de questões a serem respondidas com a proposição de modelos científicos sobre cinco situações de interesse em Física. Fórum de discussão 1 – Discussão sobre grandezas físicas. Fórum de discussão 2 – Discussão sobre metodologia científica.
Virtual síncrona (1 h)	Aula – O papel das idealizações e das aproximações nas ciências fatuais. Texto de apoio 3 – Idealizando a realidade.
Virtual	Tarefa 3 – Atividade de resolução de problema, enfocando alguns aspectos conceituais da

Modalidade (Duração)	Tarefas e materiais
assíncrona (4 h)	modelagem científica, a respeito da situação em que um caminhão atravessa uma ponte. Tarefa 4 – Atividade de resolução de problema, enfocando alguns aspectos conceituais da modelagem científica, a respeito da situação em que ocorre uma jogada típica de um voleibol, a cortada. Fórum de discussão 3 – Proposição de situações-problema, questões-foco e idealizações. Fórum de discussão 4 – Pesquisa e comentário de citações sobre modelos científicos em livros-texto.
Virtual síncrona (1 h)	Aula – Referentes, relações, variáveis e parâmetros de modelos científicos. Texto de apoio 4 – O papel mediador dos modelos científicos: identificando referentes, relações, variáveis e parâmetros.
Virtual assíncrona (4 h)	Tarefa 5 – Atividade envolvendo uma simulação computacional da colisão entre dois corpos. Tarefa 6 – Atividade envolvendo uma simulação computacional da conjugação de imagens por espelhos e lentes esféricas.
Virtual síncrona (1 h)	Aula – Retomando conceitos sobre modelos científicos. Atividade “Modelando o ato de caminhar” – Construção de um modelo para responder questões formuladas pelos professores sobre o ato de caminhar de uma pessoa. Texto de apoio 5 – Confrontando teoria e realidade: a adequação dos resultados teóricos de modelos científicos aos dados empíricos.
Virtual assíncrona (4 h)	Tarefa 7 – Leitura e discussão do Texto de apoio 5. Tarefa 8 – Atividade de proposição, formulação e resolução de problema envolvendo a conservação de energia, com base nos aspectos conceituais da modelagem científica.
Virtual síncrona (1 h)	Aula – Resultados teóricos × resultados empíricos. Atividade, com o software <i>Tracker</i> , de análise gráfica e ajuste de dados do movimento parabólico de uma bola de pingue-pongue.
Virtual assíncrona (4 h)	Tarefa 9 – Atividade sobre ajuste de dados experimentais envolvendo o movimento de queda de um corpo rígido. Fórum de discussão 5 – Discussão sobre o uso de simulações no ensino de Física enfocando os aspectos conceituais da modelagem científica.
Virtual síncrona (1 h)	Aula – Domínio de validade, grau de precisão, expansão e generalização de modelos científicos. Texto de apoio 6 – Validação, precisão, expansão e generalização de modelos científicos.
Virtual assíncrona (4 h)	Tarefa 10 – Atividade envolvendo duas simulações computacionais <i>Phet</i> sobre modelos atômicos.
Virtual síncrona (1h)	Aula – Elaboração do projeto final.
Virtual assíncrona (4 h)	Planejamento de material instrucional para uma atividade de 2 horas-aula.
Presencial (1 h)	Entrevista individual.
Virtual assíncrona (4 h)	Planejamento de material instrucional para uma atividade de 2 horas-aula.

Roteiro da entrevista semiestruturada

1) Você enxerga alguma aplicação do que foi discutido neste curso para a situação de sala de aula no ensino médio? Você vislumbra alguma estratégia didática capaz de transpor os conceitos abordados neste curso para os seus alunos?

- 2) O que você entende por idealização de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?
- 3) O que você entende por aproximação de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?
- 4) O que você entende por referente de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?
- 5) O que você entende por variável e parâmetro de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?
- 6) O que você entende por domínio de validade de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?
- 7) O que você entende por grau de precisão de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?
- 8) O que você entende por expansão de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?
- 9) O que você entende por generalização de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?
- 10) O que você entende por modelo científico?

APÊNDICE C

Questionário

Cada afirmação deste questionário expressa uma particular concepção sobre ciência ou sobre modelos e modelagem científica no contexto da Física. Gostaríamos de saber como você se posiciona em relação a cada uma delas. Para tanto, você deve expressar, em uma escala de cinco pontos, a extensão da sua concordância com cada afirmação. Os cinco pontos são: CONCORDO FORTEMENTE (CF); CONCORDO (C); INDECISO (I); DISCORDO (D); e DISCORDO FORTEMENTE (DF). Faça um círculo ao redor da alternativa que melhor expressa seu posicionamento frente a cada uma das afirmações. Evite marcar muitas vezes INDECISO (I). Muito obrigado pela sua colaboração!

Tema	Afirmação		Escala de concordância				
			CF	C	I	D	DF
NCC	01*	As teorias científicas representam a natureza tal como ela é de fato, descrevendo e explicando os fenômenos naturais de maneira completa.	CF	C	I	D	DF
CVCC	02	Para que uma teoria científica seja descartada nem sempre é suficiente demonstrar que ela está em desacordo com a observação e/ou a experimentação.	CF	C	I	D	DF
CVCC	03*	Para que o conhecimento científico possa emergir de observações e/ou experimentações sobre o mundo natural, o cientista deve abster-se de ideias prévias.	CF	C	I	D	DF
NCC	04*	O progresso da ciência se deve à descoberta de teorias científicas cada vez mais completas e verdadeiras.	CF	C	I	D	DF
NCC	05	Uma importante característica das teorias científicas é a possibilidade de que possam ser dadas como incorretas.	CF	C	I	D	DF
CVCC	06*	Só se pode afirmar que o conhecimento científico é definitivo quando há concordância entre os resultados experimentais e suas previsões em variadas condições.	CF	C	I	D	DF
CVCC	07*	O ponto de partida para a construção do conhecimento científico sempre deve ser a observação e a experimentação.	CF	C	I	D	DF
CVCC	08	Os resultados observacionais e/ou experimentais sempre envolvem pressupostos teóricos.	CF	C	I	D	DF
NCC	09	Uma importante característica do conhecimento científico é a sua falibilidade.	CF	C	I	D	DF
CVCC	10*	A efetividade e a objetividade do trabalho científico se devem ao cumprimento fiel das etapas estabelecidas pelo método científico: observação, hipóteses, experimentos e elaboração de teorias.	CF	C	I	D	DF

Tema	Afirmação		Escala de concordância				
NCC	11*	Todas as leis científicas são universais, pois são aplicáveis em quaisquer situações e condições na natureza.	CF	C	I	D	DF
CVCC	12*	Os resultados observacionais e/ou experimentais são as fontes indubitáveis para o conhecimento científico.	CF	C	I	D	DF
NCC	13	A ciência não é segura, por certo. Mas é progressiva por natureza, pois permite a revisão de seus pressupostos e está aberta a novas questões.	CF	C	I	D	DF
CVCC	14*	A discordância entre uma teoria e os dados observacionais e/ou experimentais determina que a teoria não possa ser considerada científica.	CF	C	I	D	DF
CVCC	15*	Não há lugar para a especulação, a invenção e a intuição na formulação das leis científicas.	CF	C	I	D	DF
CVCC	16	A observação científica sempre é realizada a partir de algum pressuposto teórico sobre o objeto de estudo.	CF	C	I	D	DF
CVCC	17*	Quando os cientistas se confundem, falham ou erram é porque não aplicaram adequadamente a metodologia científica.	CF	C	I	D	DF
CVCC	18	O conhecimento científico avança fundamentalmente pela capacidade do ser humano de formular problemas e propor soluções.	CF	C	I	D	DF
CVCC	19*	A experimentação contribui para o avanço da ciência na medida em que serve de juízo final para a comprovação de hipóteses e teorias científicas.	CF	C	I	D	DF
CVCC	20*	A disputa e o conflito de ideias entre os cientistas são indesejáveis.	CF	C	I	D	DF
CVCC	21	É um mito a existência de um método científico que, se criteriosamente seguido, conduza a resultados corretos e indubitáveis.	CF	C	I	D	DF
NCC	22*	As leis científicas são generalizações de muitas observações e/ou experimentos.	CF	C	I	D	DF
NCC	23*	Os resultados de observações e de experimentos são inquestionáveis, pois revelam como de fato a natureza é ou funciona.	CF	C	I	D	DF
NCC	24	As teorias científicas, por mais que estejam bem apoiadas na observação e na experimentação, poderão se revelar incorretas em certos domínios.	CF	C	I	D	DF
CVCC	25*	A metodologia científica só admite ideias que sejam obtidas através da observação e da experimentação.	CF	C	I	D	DF
CVCC	26	A objetividade e a efetividade do conhecimento científico dependem da crítica e da discordância entre os cientistas.	CF	C	I	D	DF
CVCC	27*	Uma teoria deve estar em completo e total acordo com a observação e/ou experimentação.	CF	C	I	D	DF
NFMC	28	Há modelos científicos que simulam o mecanismo de funcionamento de sistemas físicos inacessíveis aos sentidos humanos.	CF	C	I	D	DF
CVMC	29*	Teorias que prevêem corretamente os resultados de medições, num certo domínio experimental, dispensam explicações ou modelos de como a realidade funciona nesse domínio.	CF	C	I	D	DF

Tema	Afirmação		Escala de concordância				
CVMC	30*	Os cientistas descrevem a realidade em seus mínimos detalhes, incluindo o maior número de informações possíveis, no processo de modelagem científica de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF
NFMC	31	Modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re) constrói.	CF	C	I	D	DF
NFMC	32*	Modelos científicos apreendem toda a complexidade dos sistemas físicos de interesse.	CF	C	I	D	DF
NFMC	33	Um modelo científico pode passar a representar sistemas físicos completamente diferentes daquele para o qual foi inicialmente concebido.	CF	C	I	D	DF
CVMC	34*	Modelos científicos devem ser modificados sempre que não estiverem de acordo com os dados empíricos ou com o corpo de conhecimento já estabelecido.	CF	C	I	D	DF
NFMC	35*	Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade.	CF	C	I	D	DF
NFMC	36	É possível se prever fatos novos com modelos científicos.	CF	C	I	D	DF
NFMC	37*	A principal função de um modelo científico é a de servir como ferramenta de ensino.	CF	C	I	D	DF
NFMC	38	Nenhum modelo científico representa exatamente aquilo a que se refere.	CF	C	I	D	DF
NFMC	39*	Os resultados obtidos com um modelo científico jamais permitirão ir além de tudo aquilo que previamente se sabia sobre o sistema físico de interesse.	CF	C	I	D	DF
NFMC	40	Os modelos científicos assumem um papel de mediação entre teoria e realidade.	CF	C	I	D	DF
CVMC	41*	Ao teorizar acerca da realidade, os cientistas propõem diversos modelos científicos que passam a competir: o de maior sucesso adquire o status de lei científica.	CF	C	I	D	DF
NFMC	42*	A semelhança entre o sistema físico e o modelo científico capaz de representá-lo deve ser completa e total.	CF	C	I	D	DF
CVMC	43*	É possível construir diversos modelos científicos para o mesmo sistema físico, mas somente um será aceitável.	CF	C	I	D	DF
NFMC	44	Há modelos científicos que permitem investigar sistemas que não existem na natureza.	CF	C	I	D	DF
NFMC	45*	Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF
CVMC	46*	Não faz sentido conceber mais de um modelo científico para o mesmo sistema físico.	CF	C	I	D	DF
CVMC	47	Os cientistas frequentemente introduzem elementos hipotéticos, ignoram propriedades e fazem uso de entidades não observáveis na modelagem científica de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF
NFMC	48*	Modelos científicos podem ser descritos como teorias científicas que são simplificadas para fins didáticos e de divulgação científica.	CF	C	I	D	DF

*Afirmativas nas quais as respostas foram codificadas atribuindo-se escore 1 para CF, 2 para C, 3 para I, 4 para D e 5 para DF. As respostas nas demais afirmativas foram codificadas de modo invertido, atribuindo-se escore 5 para CF, 4 para C, 3 para I, 2 para D e 1 para DF.

APÊNDICE D

Quadro D.1 – Aulas, atividades e objetivos de ensino e de pesquisa em TICs-II em 2008/02.

Aula/ Tópico	Atividade	Objetivos de ensino e de pesquisa
01/ Sondagem	Aplicação do questionário INPECIP ⁵² .	Investigar concepções sobre a imagem da ciência.
	Planejamento de atividade de ensino voltada para estudantes do ensino médio.	Avaliar modo de utilização de recursos no planejamento da atividade de ensino.
02/ Sondagem	Realização de entrevista individual ⁵³ .	Avaliar o nível de conceitualização da noção de modelo científico em Física.
	Aplicação de teste de associação escrita de conceitos.	Avaliar significados atribuídos à noção de modelo científico em Física.
	Apresentação da atividade de ensino planejada na aula anterior.	Avaliar modo de utilização de recursos no planejamento da atividade de ensino.
03/ O papel das teorias e dos modelos na construção do conhecimento científico	Atividade em grupo de modelagem científica com lápis e papel.	Avaliar concepções sobre a noção de modelo científico em Física.
		Promover e avaliar a competência para formular questões claras e objetivas.
		Promover e avaliar a competência para propor modelos teóricos que solucionem as questões formuladas.
04/ Idealizando a realidade	Atividade em grupo de exploração de simulações computacionais com fins didáticos.	Promover e avaliar a competência para explicitar os modelos teóricos subjacentes às simulações computacionais.
		Promover e avaliar a competência para formular questões claras e objetivas.
05/ Referentes, relações, variáveis e parâmetros de modelos teóricos	Atividade em grupo de exploração de modelos computacionais com fins didáticos no <i>software</i> Modellus 2.5.	Promover e avaliar a competência para formular questões claras e objetivas.
		Promover e avaliar a competência para explicitar referentes, idealizações, variáveis, parâmetros e relações matemáticas subjacentes aos modelos computacionais.
06/ Resultados teóricos x resultados empíricos: confrontando teoria e realidade	Atividade em grupo de ajuste de curva teórica com o <i>software</i> Excel.	Promover a competência para ajustar curvas teóricas a dados experimentais.
	Atividade individual de ajuste de curva teórica com lápis e papel.	Avaliar concepções para ajustar curvas teóricas a dados experimentais.
07/ Domínio de validade e grau de precisão de modelos teóricos	Atividade em grupo de integração entre experimentação e modelagem computacional com fins didáticos.	Promover a competência para explicitar a adequação do modelo computacional aos resultados obtidos no experimento real.
	Atividade individual de ajuste de curva teórica com o <i>software</i> Excel.	Promover a competência para ajustar curvas teóricas a dados experimentais.
08/ Conhecendo o diagrama AVM	Atividade em grupo de construção de dAVM de modelos computacionais com fins didáticos.	Promover a competência para explicitar aspectos conceituais subjacentes aos modelos computacionais com auxílio do dAVM.
	Atividade individual de ajuste de curva teórica com o <i>software</i> Excel.	Avaliar a competência para ajustar curvas teóricas a dados experimentais.

⁵² Utilizou-se uma versão traduzida para a Língua Portuguesa do questionário ‘Inventory of Teachers’ Pedagogical & Scientific Beliefs’ (INPECIP) elaborado e validado por Porlán, Rivero e Martín Del Pozo (1997).

⁵³ Cada entrevista foi realizada em aproximadamente treze minutos.

09/ Modelagem computacional com auxílio do dAVM	Atividade em grupo de apresentação e discussão de dAVM da aula anterior.	Avaliar a competência para explicitar aspectos conceituais subjacentes aos modelos computacionais com auxílio do dAVM.
	Atividade individual de criação de modelos computacionais com fins didáticos no <i>software</i> Modellus 4.0.	Promover a competência para criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0.
10/ Modelagem computacional com auxílio do dAVM	Atividade individual de criação de modelos computacionais com fins didáticos no <i>software</i> Modellus 4.0.	Promover a competência para criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0.
	Atividade em grupo de exploração de modelos computacionais com fins didáticos no <i>software</i> Modellus 2.5 com auxílio do dAVM.	Promover a competência para explicitar aspectos conceituais subjacentes aos modelos computacionais com auxílio do dAVM.
11/ Modelagem computacional com auxílio do dAVM	Atividade em grupo de apresentação e discussão de dAVM da aula anterior.	Avaliar a competência para explicitar aspectos conceituais subjacentes aos modelos computacionais com auxílio do dAVM.
	Atividade individual de criação de modelos computacionais com fins didáticos no <i>software</i> Modellus 4.0.	Promover a competência para criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0.
12/ Modelagem computacional com auxílio do dAVM	Atividade em grupo de apresentação de dAVM com as devidas correções sugeridas pela professora na aula 11.	Avaliar a competência para explicitar aspectos conceituais subjacentes aos modelos computacionais com auxílio do dAVM.
	Atividade em grupo de criação de modelos computacionais com fins didáticos no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.	Promover a competência para criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.
13/ Modelagem computacional com auxílio do dAVM	Atividade em grupo de criação de modelos computacionais com fins didáticos no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.	Promover a competência para criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.
14/ Modelagem computacional com auxílio do dAVM	Atividade em grupo de criação de modelos computacionais com fins didáticos no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.	Promover a competência para criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.
	Atividade em grupo de apresentação e discussão de dAVM dos modelos computacionais com fins didáticos iniciados na aula 12.	Avaliar a competência para explicitar aspectos conceituais subjacentes à criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.
15/ Modelagem computacional com auxílio do dAVM	Atividade em grupo de apresentação e discussão de dAVM dos modelos computacionais com fins didáticos iniciados na aula 12.	Avaliar a competência para explicitar aspectos conceituais subjacentes à criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.
	Atividade em grupo de criação de modelos computacionais com fins didáticos no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.	Promover a competência para criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.
16/ Modelagem computacional com auxílio do dAVM	Atividade em grupo de criação de modelos computacionais com fins didáticos no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.	Promover a competência para criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.
17/ Modelagem computacional com auxílio do dAVM	Atividade de apresentação e discussão de dAVM dos modelos computacionais com fins didáticos iniciados na aula 15.	Avaliar a competência para explicitar aspectos conceituais subjacentes à criação de modelos computacionais no <i>software</i> Modellus 4.0 com auxílio do dAVM.
	Avaliação final.	Avaliar o desempenho dos professores no domínio do conteúdo de Física envolvido nas atividades de modelagem que fizeram parte.

APÊNDICE E

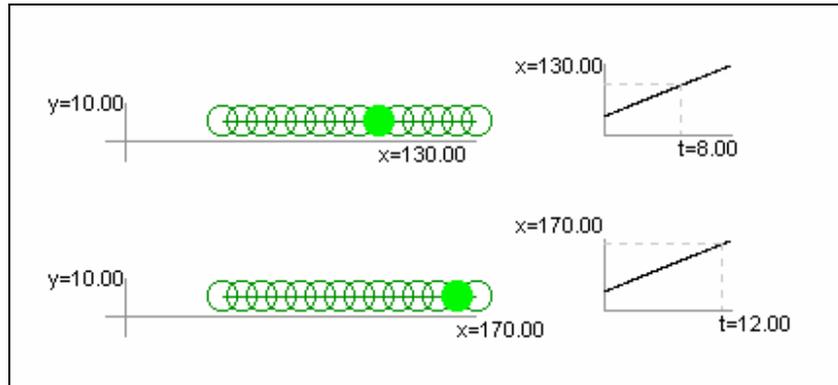
Quadro E.1 – Aulas, atividades e objetivos de ensino e de pesquisa em TICs-II em 2009/02.

Aula	Tópico	Atividade
01	Apresentação do <i>software Modellus 4.01</i> .	Tarefa 1 – Lista de exercícios a serem realizados no <i>software Modellus 4.01</i> , sobre cinemática uni e bidimensional e vetores. Entrevistas individuais.
02	<i>Software Modellus 4.01</i> .	Continuação da lista de exercícios. Primeira avaliação individual.
03	Aula expositiva sobre a construção de modelos científicos.	Leitura e debate do texto sobre modelos, de Alberto Gaspar. Tarefa 2 – Atividade de formulação de questões-foco e proposição de objetos-modelo, teorias gerais e modelos teóricos. Tarefa 3 – Questões relacionadas à coletânea de textos sobre modelagem científica.
04	Aula expositiva sobre adequação e validação de modelos científicos. Apresentação do <i>software Excel</i> como ferramenta para ajuste de curvas.	Apresentação da atividade de formulação de questões-foco e proposição de objetos-modelo, teorias gerais e modelos teóricos. Tarefas 4 e 5 - Exercícios de ajuste de curvas com o <i>software Excel</i> .
05	Apresentação do <i>software Tracker</i> para análise gráfica de vídeos.	Tarefa 6 - Exercícios de ajuste de curvas com o <i>software Tracker</i> . Tarefa 7 - Exercícios de ajuste de curvas com o <i>software Excel</i> .
06	Aula expositiva sobre exemplos de atividades de simulação e modelagem computacionais nos modos exploratório e expressivo.	Apresentação da Tarefa 6 - Ajuste de funções com o <i>software Tracker</i> . Segunda avaliação individual, sobre ajuste de curvas. Tarefa 8 – Elaborar um guia de atividades para explorar uma simulação computacional do <i>software Modellus 4.01</i> .
07	Apresentação do dAVM.	Apresentação da Tarefa 8. Tarefa 9 – Construção do primeiro dAVM (relativo ao modelo usado na Tarefa 8). Tarefa 10 – Construção do segundo dAVM (relativo a uma simulação de escolha livre).
08	Simulação e modelagem computacionais com auxílio do dAVM e do <i>software Modellus</i> .	Apresentação da Tarefa 9. Apresentação da Tarefa 10. Tarefa 11 – Atividade de modelagem exploratória envolvendo a questão do erro e construção do terceiro dAVM.
09	Simulação e modelagem computacionais com auxílio do dAVM e do <i>software Modellus</i> .	Apresentação da Tarefa 10.
10	Simulação e modelagem computacionais com auxílio do dAVM e do <i>software Modellus</i> .	Apresentação da Tarefa 11. Tarefa 12 – Atividade de modelagem expressiva e construção do quarto dAVM.
11	Simulação e modelagem computacionais com auxílio do dAVM e do <i>software Modellus</i> .	Continuação da Tarefa 12.
12	Simulação e modelagem computacionais com auxílio do dAVM e do <i>software Modellus</i> .	Continuação da Tarefa 12. Apresentação da Tarefa 12.
13	Simulação e modelagem computacionais com auxílio do dAVM e do <i>software Modellus</i> .	Tarefa 13 – Atividade de modelagem expressiva e construção do quinto dAVM.
14	Simulação e modelagem computacionais com auxílio do dAVM e do <i>software Modellus</i> .	Continuação da Tarefa 13. Apresentação da Tarefa 13.
15	Simulação e modelagem computacionais com auxílio do dAVM e do <i>software Modellus</i> .	Apresentação da Tarefa 13.
16	Encerramento da disciplina.	Prova final. Entrevista Final.

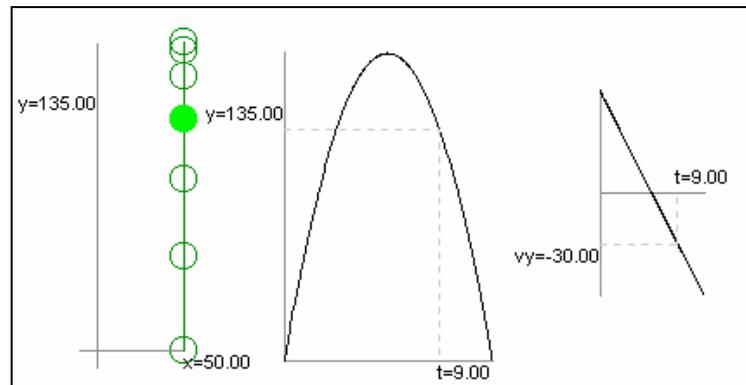
Tarefa 1⁵⁴

1) Use funções, no *Modellus 4.01*, que permitam obter as seguintes trajetórias retílineas. (Sistema Internacional de Unidades).

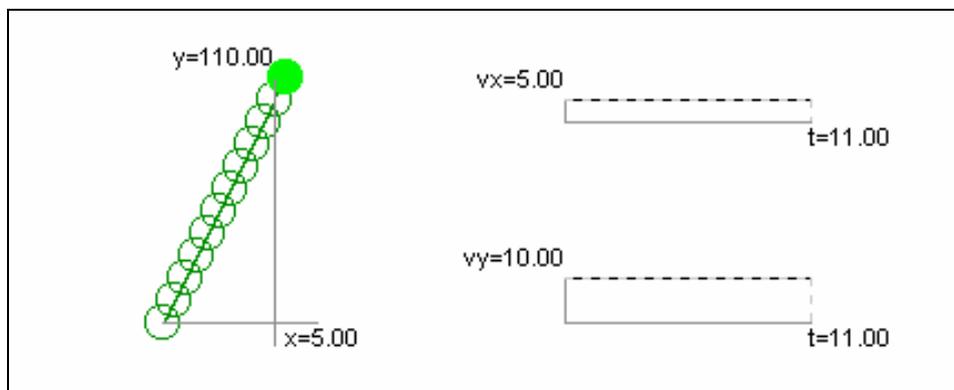
i)



ii)

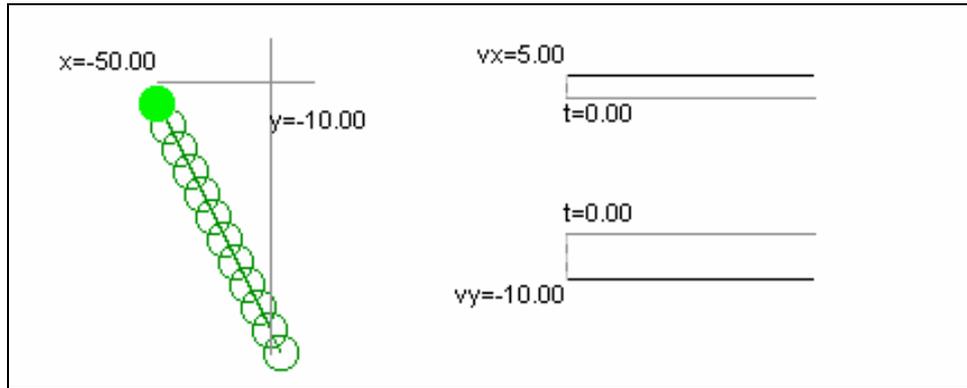


iii)

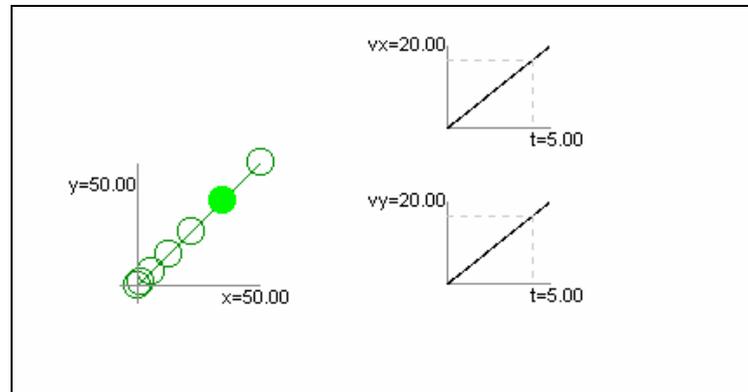


⁵⁴ Extraído do Texto Física Geral Universitária – E. A. Veit e P. M. Mors.

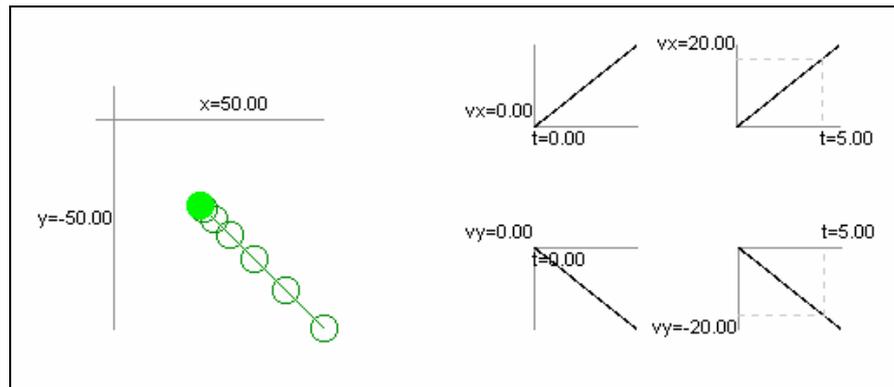
iv)



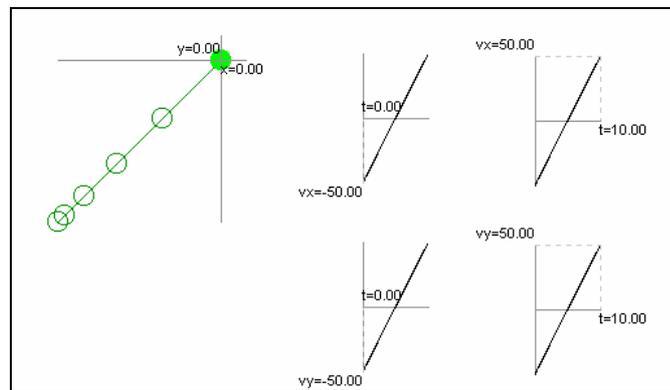
v)



vi)

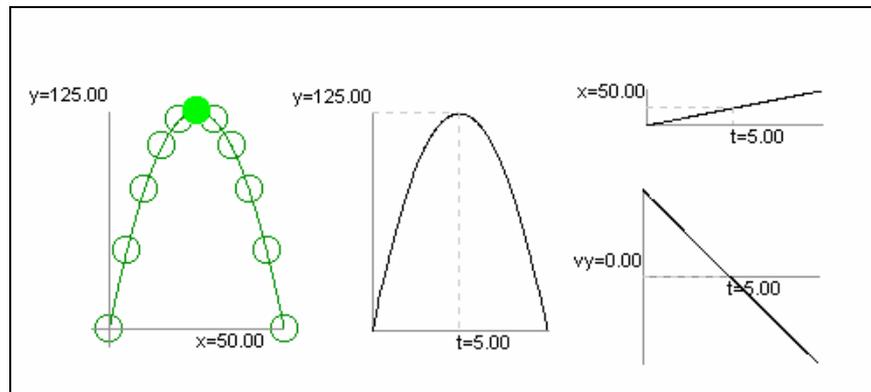


vii)

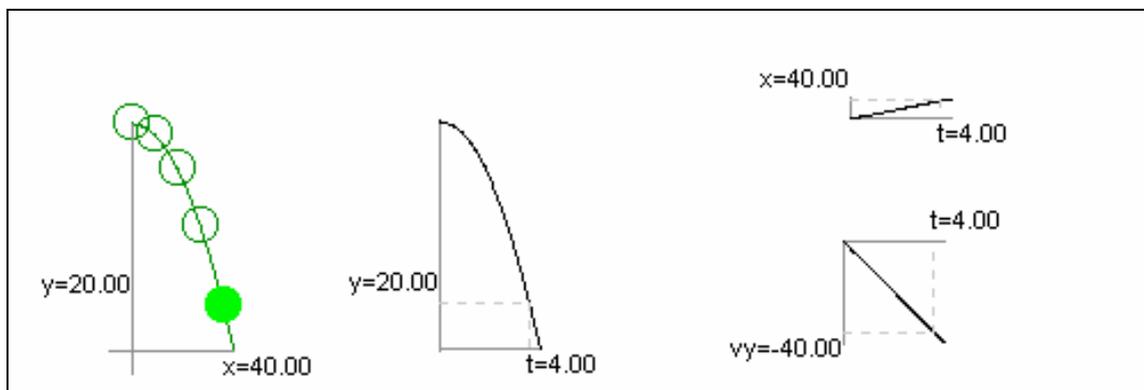


2) Use equações diferenciais, no *Modellus 4.01*, que permitam obter as seguintes trajetórias parabólicas. (Sistema Internacional de Unidades).

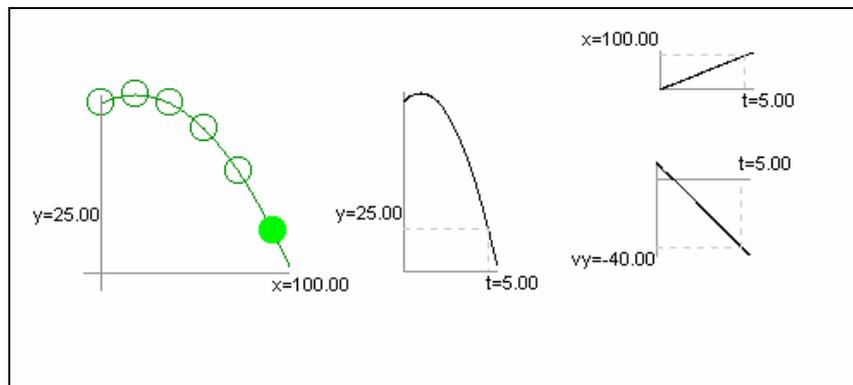
i)



ii)



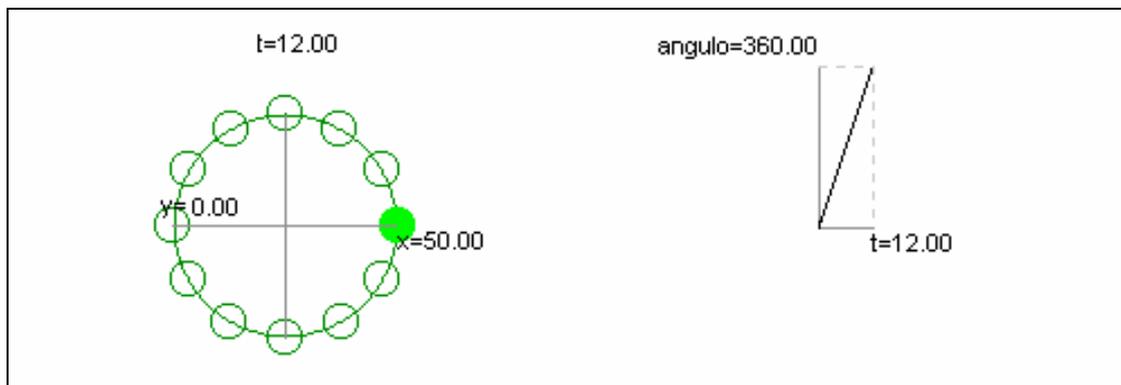
iii)



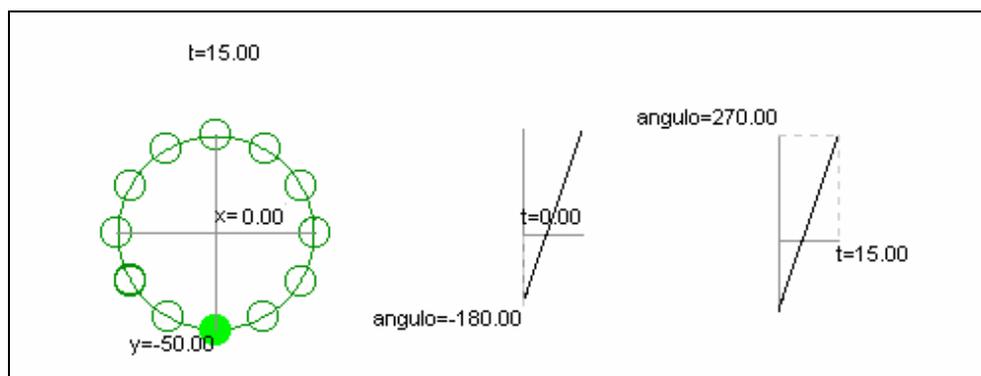
3) Crie um modelo, no *Modellus 4.01*, que lhe permita comparar as trajetórias parabólicas de projéteis na Terra, na Lua e em Vênus.

4) Use funções, no *Modellus 4.01*, que permitam obter as seguintes trajetórias circulares. (Sistema Internacional de Unidades, exceto para ângulo, medido em graus.)

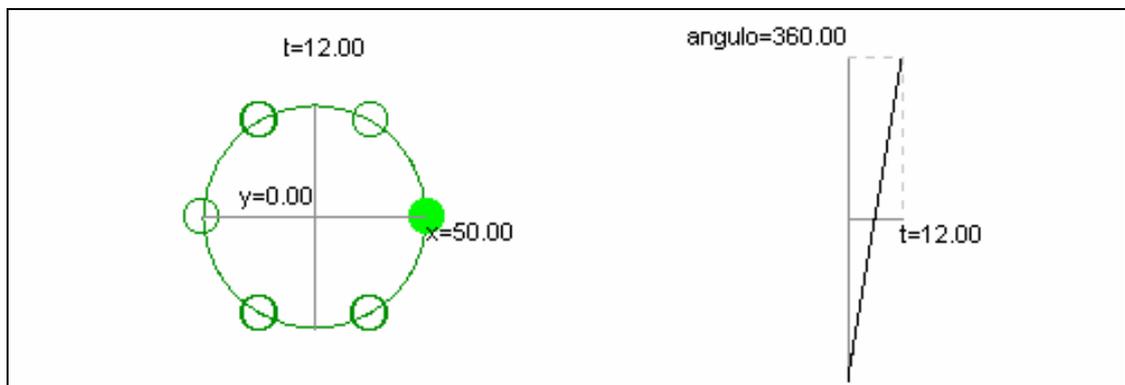
i)



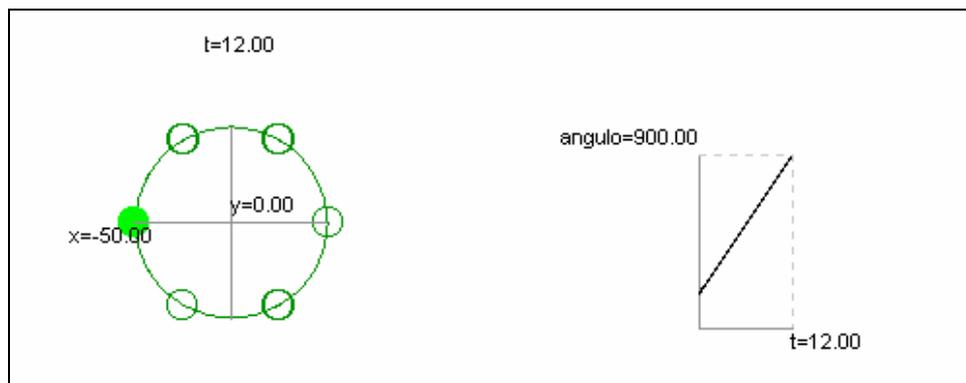
ii)



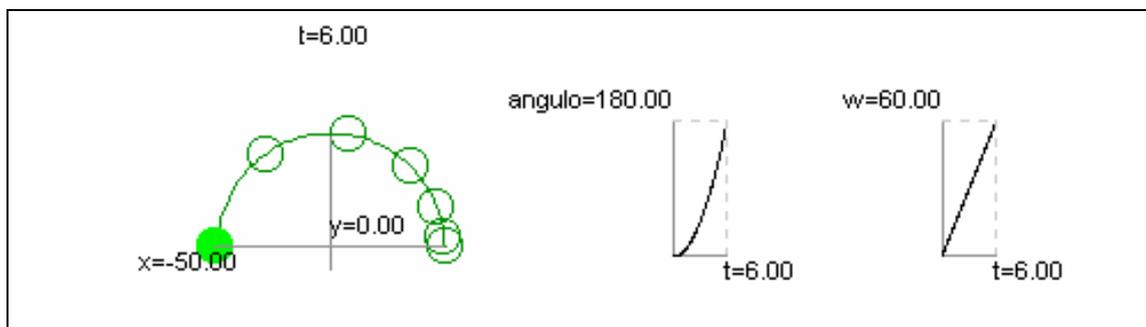
iii)



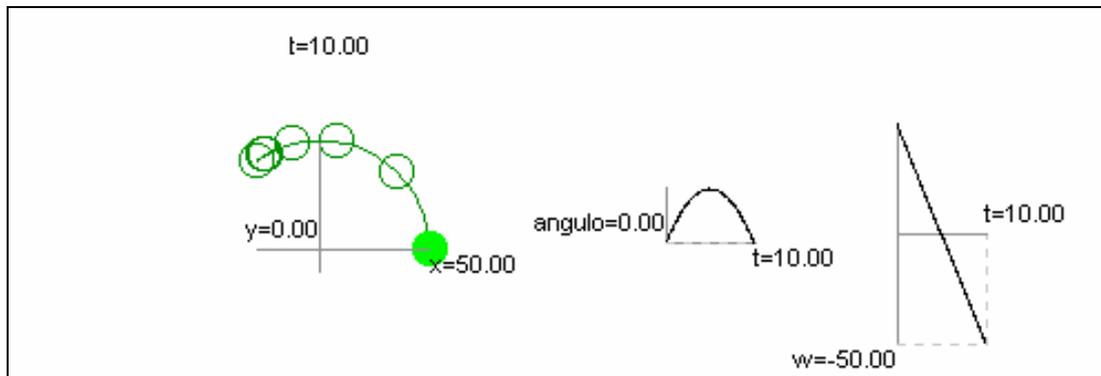
iv)



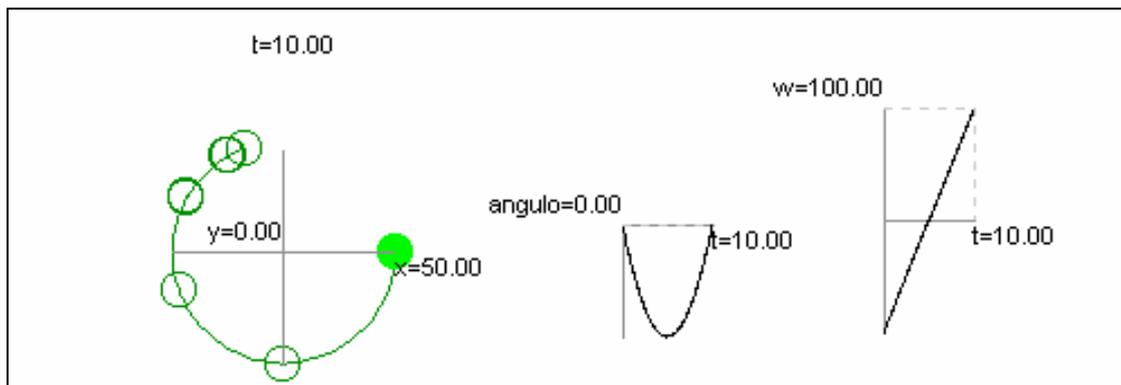
v)



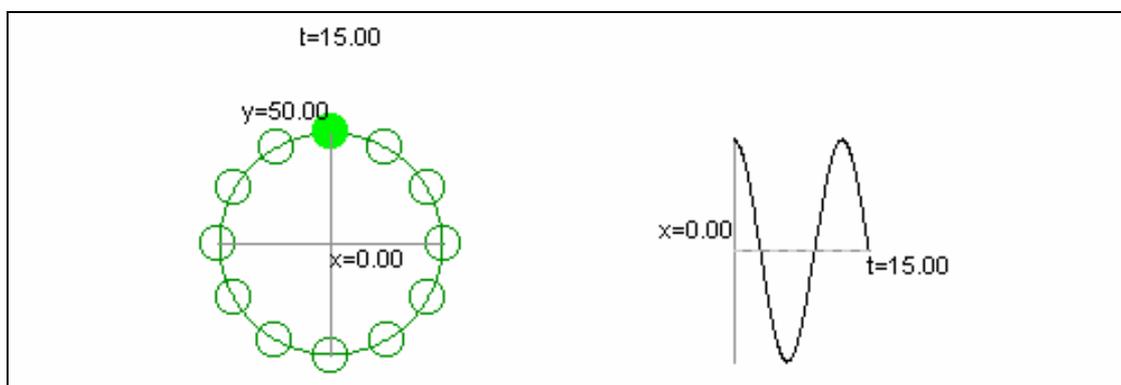
vi)



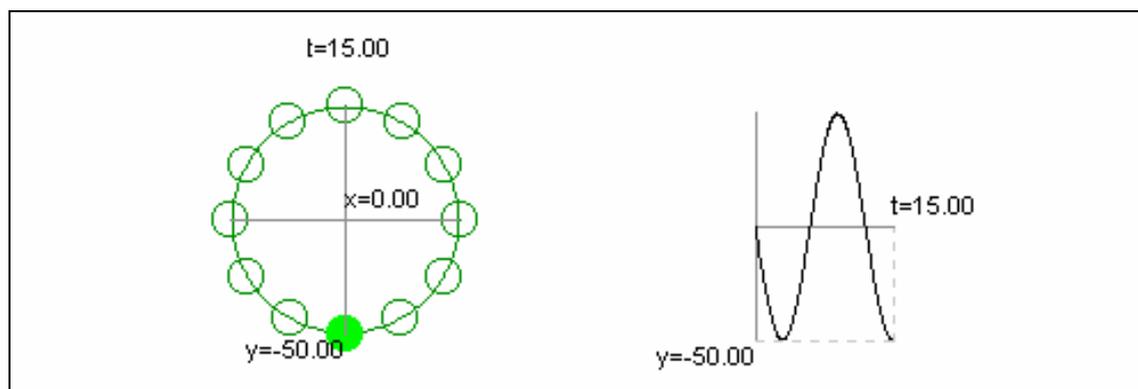
vii)



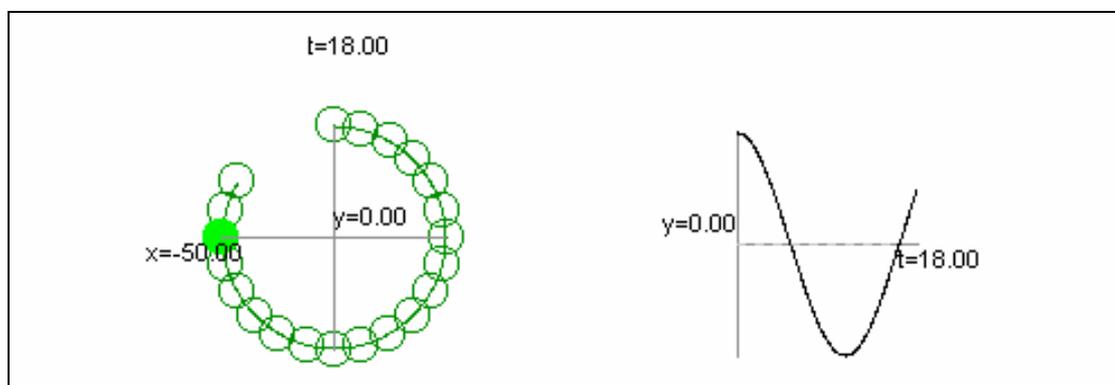
viii)



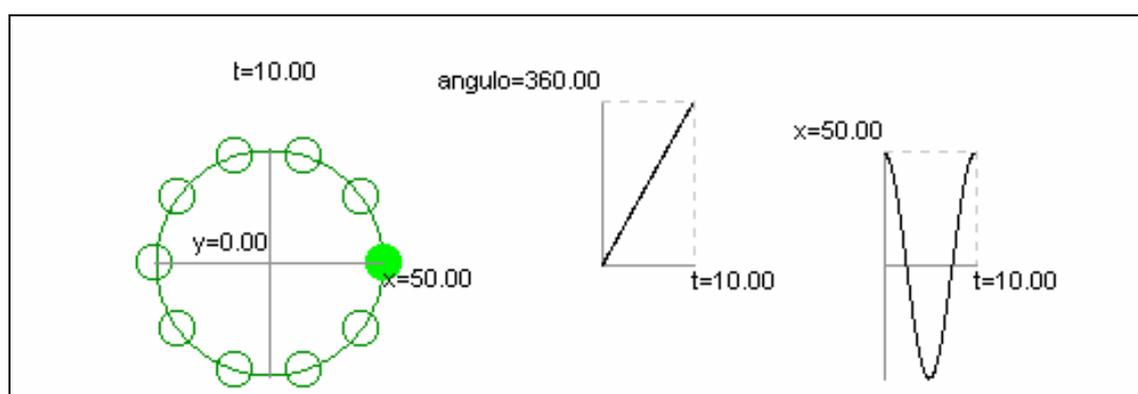
ix)



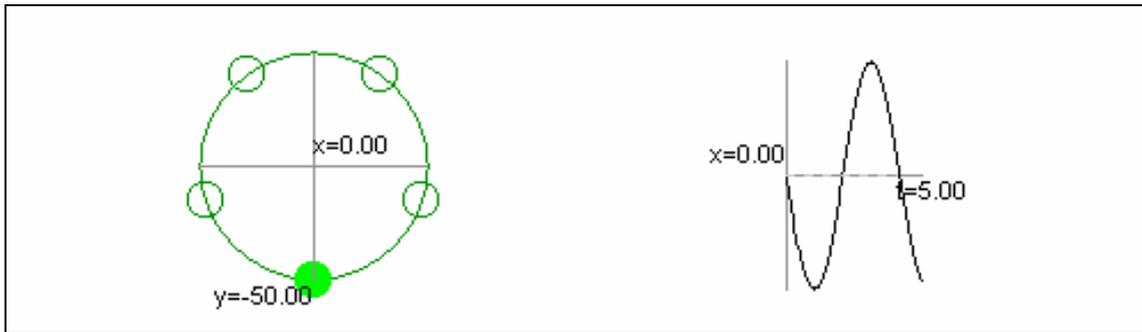
x)



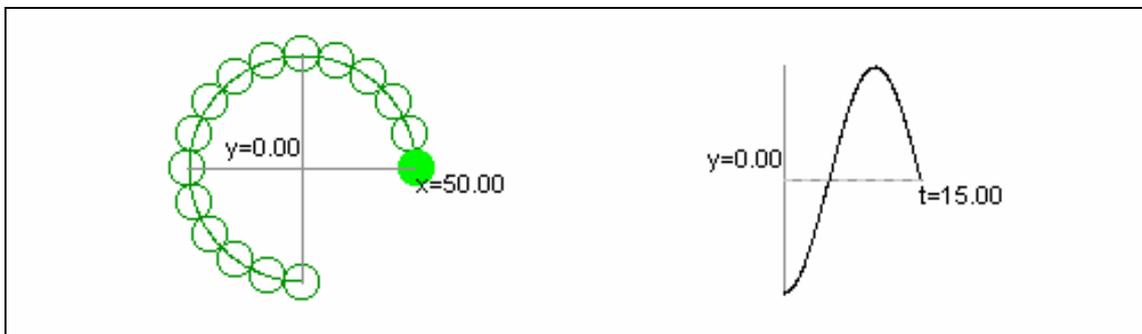
xi)



xii)



xiii)



5) Use a representação vetorial do *Modellus 4.01* para construir os seguintes modelos: i) dadas as componentes retangulares de dois vetores, determinar a sua soma e representá-la na janela animação; ii) dado o módulo e a orientação de um vetor A e de um vetor B (quaisquer, ou seja, módulo e orientação são parâmetros de entrada do modelo), fazer a soma vetorial destes vetores e representá-la na janela animação. Criar 3 casos, sendo um deles: $A = 1$ e ângulo com a horizontal de 30° de $B = 2$ formando ângulo com a horizontal de 40° ; iii) dadas as componentes x e y de um vetor A, calcular seu módulo e orientação, representar o vetor na janela animação, juntamente com o valor do ângulo - em graus - que forma com o eixo horizontal. Considerar 4 casos: um em cada quadrante; e iv) dados os vetores A e B (quaisquer) determinar o ângulo formado entre eles.

6) Criar um modelo (ou mais modelos) que auxiliem na discussão de velocidade relativa.

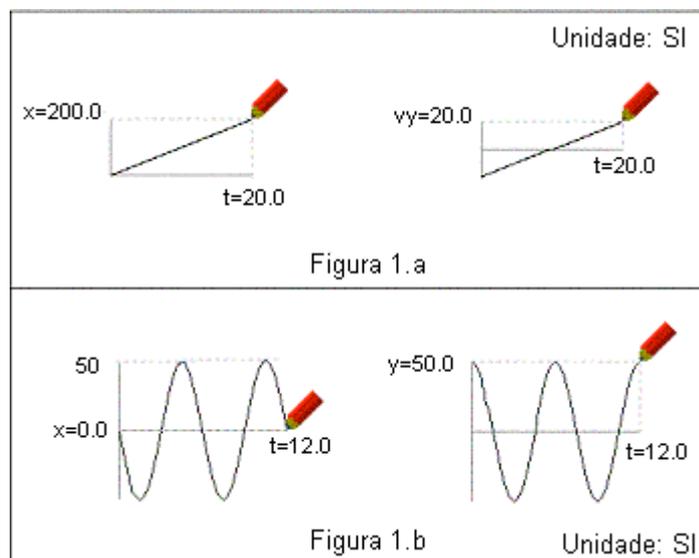
7) Criar um (ou mais modelos) que auxiliem na discussão de funções trigonométricas.

8) Criar a animação de um objeto que se move sob ação de uma força proporcional a x.

Primeira avaliação individual

Esta avaliação é constituída de duas questões. A primeira questão deverá ser feita no papel, com lápis ou caneta, sem auxílio do computador. O modelo correspondente **não** deverá ser implementado no *software Modellus 4.01*. Depois desta questão ter sido resolvida e entregue, solicite a outra questão a ser resolvida. O teste deverá ser feito individualmente, sem qualquer consulta a colegas e/ou a qualquer fonte impressa ou eletrônica.

QUESTÃO 1: Nas Figuras 1.a e 1.b são mostrados gráficos correspondentes aos movimentos de dois corpos. Para se construir modelos que reproduzam estes gráficos, sem usar o método de tentativa e erro, é necessário, primeiramente, extrair todas as informações relevantes dos gráficos. Para cada uma das figuras, você deverá: i) descrever (com palavras) quais são as informações relevantes (tipo de movimento, variáveis, parâmetros, valores iniciais,...); e ii) traçar a trajetória de uma partícula que se mova de acordo com as equações do movimento que regem estes gráficos, indicando algumas posições estroboscópicas.



QUESTÃO 2: A figura abaixo é a foto de um chafariz. Ela está disponível na área de trabalho do seu computador (arquivo Chafariz.gif). Abra o *software Modellus 4.01* e importe o arquivo, clicando na opção **Fundo** e depois na opção **Inserir**, na aba **Início**.

Com o chafariz de fundo, você deve modelar (escrever as respectivas equações na janela **Modelo matemático** e animar um **Objeto**) a trajetória da água que é lançada pelo chafariz.

Para escrever na janela Modelo matemático, utilize **equações diferenciais**. Ao final, poste no Moodle o arquivo contendo o seu modelo computacional.



Espera-se que o modelo computacional construído por você descreva razoavelmente bem a trajetória da água que é lançada pelo chafariz. Discuta a causa da discrepância entre as duas trajetórias, a que resultou do seu modelo computacional e a mostrada na figura.

Segunda avaliação individual

QUESTÃO 1: 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
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 (cm ²)
1	$H = 265t$	6244
2	$H = 500 t^2$	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

Com base na tabela acima, responda:

- i) Qual dessas funções você acha que um físico elegeria como a melhor candidata a descrever esses resultados experimentais? Justifique a sua escolha.

- ii) Para a função escolhida, identifique os parâmetros de ajuste com grandezas físicas e especifique as suas unidades.

Quadro E.2 – Aspectos conceituais explicitados por Alison e Robson nas atividades de modelagem computacional, com auxílio do dAVM, apresentadas na forma das Tarefas 9, 10 11, 12 e 13.

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Alison	Robson			
Simulação ou modelo computacional explorado e/ou construído	<i>atwood machine.modellus</i>	<i>lorenz force on a charged particle.modellus</i>	<i>circular motion, force, period etc.modellus</i>	<i>paraquedista.mdl</i>	<i>Modelo computacional construído a partir da leitura do artigo ‘Bola, taco, sinuca e física’, de Costa (2007)</i>	
Fenômeno de interesse	<i>Funcionamento da máquina de Atwood.</i>	<i>Forças elétrica e magnética sobre uma partícula carregada.</i>	<i>MCU de uma partícula.</i>	<i>Movimento de corpos em meios resistivos próximo da superfície da Terra.</i>	<i>Movimento de uma bola de sinuca após a tacada.</i>	
Questões-foco	<i>Que tipos de movimento podem ser realizados pela máquina de Atwood? Qual a relação entre as massas e a aceleração do conjunto na máquina de Atwood?</i>	<i>Qual a orientação dos campos elétrico e magnético? Que tipos de movimento podem ser descritos pela partícula?</i>	<i>Como a massa, o período e o raio de giro de uma partícula em MCU interferem sobre a força centrípeta e a velocidade escalar dessa partícula? Que tipo de gráfico descreve a posição x e y de uma partícula em função do tempo, em MCU no plano?</i>	<i>Como se comporta a aceleração do paraquedista durante a queda?</i>	<i>Como a posição da tacada interfere no movimento inicial da bola?</i>	
Situação-problema	<i>Análise do funcionamento da máquina de Atwood.</i>	<i>Análise do movimento de uma partícula carregada no interior de um campo elétrico e um magnético.</i>	<i>Análise do comportamento de uma partícula em movimento circular.</i>	<i>Análise das variáveis cinemáticas e dinâmicas durante a queda de um paraquedista.</i>	<i>Análise cinemática do movimento de uma bola de sinuca após a tacada.</i>	
Referentes reais	<i>Fios, blocos de massa, roldana e suporte.</i>	<i>Corpo eletricamente carregado, campos elétrico e magnético.</i>	<i>Um objeto em movimento circular.</i>	<i>Terra, paraquedas, paraquedista e ar.</i>	<i>Taco, bola, Terra e mesa.</i>	
Idealizações/aproximações	<i>Fio inextensível e sem massa, roldana ideal, campo</i>	<i>O corpo é uma partícula. A resistência do ar é desprezível. A</i>	<i>Campo gravitacional uniforme. Objeto</i>	<i>Campo gravitacional uniforme. O paraquedista é</i>	<i>A bola é considerada uma esfera com distribuição de massa homogênea. O coeficiente de atrito</i>	

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Alison	Robson			
	<i>gravitacional uniforme e blocos de massa como partículas.</i>	<i>aceleração gravitacional é desprezível. Campos elétrico e magnético uniformes.</i>	<i>como uma partícula. Não existe ação de forças externas. O movimento é circular uniforme. Não há perdas de energia no sistema.</i>	<i>considerado como partícula.</i>	<i>estático entre a bola e a mesa é nulo. O tempo de contato do taco com a bola é desprezível.</i>	
Resultados conhecidos	<i>Para $m_1=m_2$, $a=0$.</i>	<i>Para $B=0$, o movimento é retilíneo uniformemente variado. Para um campo elétrico inicialmente nulo, a partícula não se move.</i>	<i>No MCU, a_c, v, F_c são constantes. A projeção da posição da partícula nos planos x e y descreve uma senóide.</i>	<i>Sem resistência do ar, o paraquedista cai com a aceleração gravitacional. A resistência do ar aumenta em função da velocidade de queda.</i>	<i>Para b (posição de impacto) igual a zero, v_{cm0} (velocidade do centro de massa) é igual v_0. Para $b=2r/5$, $v_0=0$.</i>	
Predições	<i>Quanto maior a diferença entre m_1 e m_2, maior a aceleração do conjunto.</i>	<i>A partícula descreve um MCU sob ação exclusiva do campo magnético, se possuir em determinado instante velocidade não nula.</i>	<i>Quanto maior for R, maior F_c e v. Quanto menor for T, maior F_c e v. Quanto maior a massa, maior F_c.</i>	<i>No momento em que o paraquedas é aberto, a aceleração do paraquedista varia abruptamente.</i>	<i>Tacada baixa, f_{at} (força de atrito) tem sentido contrário de v_{cm0} e v_0. Tacada alta, f_{at} tem sentido contrário de v_0 e mesmo sentido de v_{cm0}.</i>	
Validação do modelo	<i>O modelo explorado responde aos resultados conhecidos e às predições.</i>	<i>O modelo explorado corresponde aos resultados conhecidos, bem como às predições.</i>	<i>O modelo explorado responde aos resultados conhecidos.</i>	<i>O modelo explorado responde aos resultados conhecidos.</i>	<i>O modelo reproduz os resultados conhecidos para o movimento inicial da bola, porém não representa corretamente o movimento da bola quando na ausência de deslizamento.</i>	<i>O modelo reproduz os resultados conhecidos para o movimento inicial da bola nas posições $b=0$, $b=2r/5$ e $b=r$, porém não representa corretamente o movimento da bola quando em posições intermediárias e</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Alison	Robson			
						<i>na ausência de deslizamento.</i>
Respostas às questões-foco	<i>Com os blocos em movimento, se m_1 e m_2 forem iguais, o conjunto descreve um movimento uniforme. Quanto maior a diferença entre as massas dos blocos m_1 e m_2, maior a aceleração dos mesmos. A aceleração dos blocos é constante ao longo do tempo, para massas constantes.</i>	<i>A orientação do campo elétrico é vertical (podendo ser para cima ou para baixo, dependendo da interação), enquanto a orientação do campo magnético é perpendicularmente ao plano xy (podendo, da mesma forma, através da interação, entrar ou sair do plano). A partícula apresenta MRU a partir de uma velocidade inicial não nula, anulando-se o campo magnético e o campo elétrico ou a carga da partícula. A partícula apresenta MRUV a partir do repouso, anulando-se o campo magnético. A partícula apresenta MCU, anulando-se o campo elétrico do instante em que possuir velocidade não nula.</i>	<i>Quanto maior a massa da partícula, maior a força centrípeta sobre ela. A aceleração centrípeta da partícula é constante em módulo, ao longo do tempo. Quanto menor o período de giro da partícula, maior a aceleração centrípeta e a velocidade linear da mesma. Quanto menor o raio de giro da partícula, menor a força centrípeta e a velocidade escalar da mesma.</i>	<i>Sem resistência do ar, o paraquedista descreve um movimento uniforme variado. Com resistência do ar, o paraquedista descreve um movimento variado com aceleração positiva antes de abrir o paraquedas e, após a abertura, descreve um movimento variado com aceleração negativa tendendo à zero.</i>	<i>Para uma tacada entre o centro de massa (CM) da bola e $0,4 r$ (tacada baixa), a velocidade de deslizamento e a velocidade do CM diminuem; no momento em que a velocidade de deslizamento se anula, a velocidade do CM assume valor constante. Para uma tacada exatamente em $0,4 r$ a bola rola sem deslizar. Para uma tacada acima de $0,4 r$ (tacada alta), a velocidade de deslizamento diminui e a velocidade do centro de massa aumenta; no momento em que a velocidade de deslizamento se anula, a velocidade do CM assume valor constante.</i>	
Possíveis generalizações e expansões do modelo	<i>Incluir as perdas de energia por atrito na roldana.</i>	<i>Incluir possível variações dos campos elétricos e magnéticos. Permitir o lançamento de partículas obliquamente aos</i>	<i>Incluir perdas de energia por atrito.</i>	<i>Incluir a variação do campo gravitacional.</i>	<i>Considerar a perda de energia devido ao atrito estático.</i>	<i>Considerar a perda de energia devido ao atrito estático. Incluir o impulso inicial aplicado à bola.</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Alison	Robson			
		<i>campos.</i>				

Quadro E.3 – Aspectos conceituais explicitados por Élvis e Luis Guilherme nas atividades de modelagem computacional, com auxílio do dAVM, apresentadas na forma das Tarefas 9, 10 11, 12 e 13.

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Élvis	Luis Guilherme			
Simulação ou modelo computacional explorado e/ou construído	<i>Parachutist, before and after open of the parachute.modell us</i>	<i>f_a.mdl</i>	<i>States of Matter: Basics (http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/states-of-matter-basics)</i>	<i>atrito.mdl</i>	<i>Modelo computacional construído a partir da leitura do artigo ‘Dois problemas práticos de Eletricidade Vitoriana e sua discussão no ensino secundário e universitário, de Tort (2009).</i>	<i>Modelo computacional construído a partir da leitura do artigo ‘A aerodinâmica da bola de futebol’, de Aguiar e Rubini (2004).</i>
Fenômeno de interesse	<i>Movimento de corpos em meios resistivos.</i>	<i>Movimento de um carro no plano horizontal.</i>	<i>Estados físicos da matéria. Dilatação anômala da água.</i>	<i>Movimento oscilatório de um corpo em um meio resistivo.</i>	<i>Estudo comparativo do comportamento de grandezas físicas em circuitos elétricos.</i>	<i>Estudo da influência do ar sobre o movimento de uma bola de futebol.</i>
Questões-foco	<i>A aceleração do corpo pode sofrer alguma variação abrupta? Explique o</i>	<i>Que relação há entre força e aceleração em um movimento</i>	<i>Como é o comportamento da água em nível molecular durante a transição entre os estados físicos?</i>	<i>Qual a influência da força de atrito na velocidade do bloco?</i>	<i>Existe alguma influência significativa no cálculo da potência</i>	<i>A crise do arrasto e o efeito Magnus afetam de modo significativo o</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Élvis	Luis Guilherme			
	<i>motivo.</i>	<i>retilíneo?</i>			<i>dissipada em um circuito em paralelo, quando se leva em consideração os valores das resistências internas da bateria e do fio? O número de lâmpadas ligadas em um circuito em paralelo pode influenciar na potência dissipada por cada uma delas?</i>	<i>movimento da bola de futebol chutada por Pelé?</i>
Situação-problema	<i>Análise das variáveis cinemáticas e dinâmicas de um sujeito que salta de um avião com paraquedas.</i>	<i>Análise das variáveis cinemáticas e dinâmicas do movimento de um carro num plano horizontal sem atrito.</i>	<i>Por que o gelo flutua?</i>	<i>Análise das variáveis cinemáticas e dinâmicas de um bloco em movimento oscilatório num piso com atrito.</i>	<i>Análise de circuitos elétricos na iluminação residencial: a subdivisão da luz.</i>	<i>Análise do chute de Pelé pela seleção brasileira contra a Tchecoslováquia na Copa de 1970.</i>
Referentes reais	<i>O paraquedista, o paraquedas, o ar atmosférico e a Terra.</i>	<i>O carro, uma pessoa e a superfície.</i>	<i>Água, Argônio, Neônio e Oxigênio.</i>	<i>O bloco, a superfície de contato e a mola.</i>	<i>Fonte de tensão contínua, lâmpadas e fios.</i>	<i>Campo de futebol, bola de futebol, ar, Terra e jogador.</i>
Idealizações/aproximaç	<i>O movimento é</i>	<i>O movimento</i>	<i>Considerar átomos como bolinhas. Gelo</i>	<i>O movimento</i>	<i>Modelo 1:</i>	<i>A densidade do</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Élvis	Luis Guilherme			
ões	<i>unidimensional. A aceleração da gravidade é constante e vale 10 m/s^2.</i>	<i>é unidimensional e não há atrito do carro com o plano.</i>	<i>como fonte resfriadora.</i>	<i>é unidimensional, não há resistência do ar, a mola é ideal, o corpo tem sua massa considerada como concentrada num único ponto.</i>	<i>tensão elétrica constante, resistências elétricas com valores constantes e independentes da temperatura, resistência interna da bateria nula e resistência dos fios nula. Modelo 2: tensão elétrica constante, resistências elétricas com valores constantes e independentes da temperatura.</i>	<i>ar ($1,05 \text{ kg/m}^3$) e a aceleração gravitacional ($9,8 \text{ m/s}^2$) são constantes. O arrasto linear é desprezível, dado que consideramos o número de Reynolds entre os valores 10^3 e 3×10^5. O coeficiente de arrasto (C_a) obedece a relação: $C_a=0,5$ para $v < v_{\text{crise}}$. v_{crise} é um parâmetro livre do modelo. A bola de futebol é considerada uma esfera aproximadamente e lisa. Desconsidera-se o grau de turbulência já existente no ar. A bola move-se no plano vertical xz e o eixo de rotação aponta sempre na direção y. A velocidade de</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Élvis	Luis Guilherme			
						<i>rotação não diminui ao longo da trajetória. O coeficiente Magnus é igual a 1.</i>
Resultados conhecidos	<i>Após certo tempo de queda, a força de resistência do ar aumenta abruptamente devido à abertura do paraquedas. Assim, o paraquedista tem sua aceleração variando abruptamente e a partir daí desce com velocidade constante.</i>	<i>Quando a força aplicada sobre o carro é igual a zero, esse terá aceleração nula, podendo estar em repouso ou em movimento uniforme.</i>	<i>O volume de uma mesma massa de gelo e água são diferentes. Sendo o volume do gelo (água sólida) maior que a da água líquida.</i>	<i>Para coeficiente de atrito zero, o movimento do bloco é um MHS não amortecido.</i>	<i>A potência dissipada em um circuito em série diminui à medida que aumentamos o número de lâmpadas. A resistência interna da bateria e dos fios em geral é muito menor que a de uma lâmpada.</i>	<i>Na ausência de interação com o ar, a bola de futebol descreve uma parábola. Na presença do efeito Magnus, percebe-se uma redução da resultante no eixo z.</i>
Predições	<i>A aceleração sofre uma variação abrupta quando o paraquedas é aberto, ou seja, quando a força de resistência do ar aumenta abruptamente.</i>	<i>A aceleração varia quando variamos a força aplicada sobre o carro. Quanto maior a força aplicada, maior será a aceleração.</i>		<i>A amplitude do movimento é reduzida mais rapidamente quanto maior for o coeficiente de atrito.</i>	<i>A potência dissipada por lâmpada em um circuito em paralelo é constante.</i>	<i>A presença de ar, bem como a interação dele com a bola (crise do arrasto e efeito Magnus), fará com que a bola atinja distâncias maiores do que na ausência dessa interação.</i>
Validação do modelo	<i>Os resultados conhecidos são alcançados com o</i>	<i>Os resultados conhecidos são</i>	<i>Os resultados conhecidos são alcançados com o modelo.</i>	<i>Os resultados conhecidos são</i>	<i>Quando consideramos a</i>	<i>Quando consideramos a crise do arrasto</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Élvis	Luis Guilherme			
	<i>modelo.</i>	<i>alcançados com o modelo.</i>		<i>alcançados com o modelo.</i>	<i>aproximação que diz que a resistência dos fios e da bateria são pequenas comparadas com a de uma lâmpada, obtemos que a potência dissipada por lâmpada é constante.</i>	<i>e o efeito Magnus, gerados a partir da interação da bola com o ar, o movimento da bola altera-se significativamente.</i>
Respostas às questões-foco	<i>Abrindo-se o paraquedas, aumenta-se a área de contato com o ar. Com isso, a força de resistência do ar torna-se maior que o peso do paraquedista, fazendo com que a resultante das forças sobre ele tenha sentido para cima. Assim, a aceleração do paraquedista sofre uma variação abrupta. A partir daí a velocidade tende a diminuir e, em aproximadamente</i>	<i>Existe uma relação direta entre força e aceleração, isto é, quanto maior a força aplicada sobre o carro, maior será sua aceleração.</i>	<i>Quando a temperatura da água aproxima-se dos 4 °C, ou 277 K, as moléculas começam a estabelecer pontes de hidrogênio e aumentam o volume em relação ao estado líquido, o que faz diminuir sua densidade. Se o gelo é menos denso que a água, sua tendência é flutuar.</i>	<i>Quanto maior a força de atrito, menor fica a velocidade a cada oscilação.</i>	<i>Pode-se considerar a resistência interna da bateria e dos fios desprezível frente à resistência das lâmpadas de um circuito. Não há influência significativa quando o número de lâmpadas é pequeno, isto é, quando esse número for considerado como o</i>	<i>A crise do arrasto aliada ao efeito Magnus afetam o movimento da bola de futebol chutada por Pelé, uma vez que se esses fatores não existissem, a bola não chegaria onde chegou.</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Élvis	Luis Guilherme			
	<i>cinco segundos após a abertura do paraquedas, a intensidade da força de resistência do ar é igualada novamente ao peso do paraquedista.</i>				<i>habitual para lâmpadas em uma residência.</i>	
Possíveis generalizações e expansões do modelo	<i>Incluir o quanto varia a área do paraquedista ao abrir o paraquedas.</i>	<i>Incluir a força de atrito com a superfície.</i>	<i>Pode-se aplicar o modelo para explicar o porque de algumas garrafas de cerveja, ou água, romperem dentro do freezer/congelador. Explicar como esta propriedade permitiu a manutenção de vida nos mares e lagos durante os períodos glaciais.</i>	<i>Inclusão da força de resistência do ar.</i>	<i>Inclusão de possíveis variações nas resistências dos materiais.</i>	<i>Inclusão de possível rugosidade da bola.</i>

Quadro E.4 – Aspectos conceituais explicitados por Gerônimo e Rosária nas atividades de modelagem computacional, com auxílio do dAVM, apresentadas na forma das Tarefas 9, 10 11, 12 e 13.

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gerônimo	Rosária			
Simulação ou modelo computacional explorado e/ou construído	<i>binary star.modellus</i>	<i>frequency modulation.modellus</i>	<i>Sunshine applet (http://www.jgiesen.de/sunshine/index.htm)</i>	<i>pendulo.mdl</i>	<i>Modelo computacional construído a partir do interesse dos alunos em lançamento de foguetes.</i>	
Fenômeno de interesse	<i>Movimento de estrelas binárias.</i>	<i>Modulação em frequência de onda eletromagnética.</i>	<i>Movimento aparente do Sol em diversas localidades da Terra.</i>	<i>Oscilações mecânicas.</i>	<i>Trajatória de um corpo que interage gravitacionalmente.</i>	<i>Interação gravitacional.</i>
Questões-foco	<i>Determinar o período de revolução das estrelas.</i>	<i>Como o sinal modulante interfere na onda portadora para transmitir a informação?</i>	<i>Qual é a relação entre a latitude de um local e o movimento diário do Sol neste local nos dias de solstício e equinócio? Podemos encontrar a direção norte e sul tomando como referência a direção leste como sendo aquela que aponta em</i>	<i>Qual a razão entre as frequências de oscilação de um pêndulo simples na Terra e na</i>	<i>Qual a relação entre a trajetória descrita por um foguete que é lançado a uma distância de 500</i>	<i>Qual a relação entre a trajetória descrita por um foguete que é</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gerônimo	Rosária			
			<i>direção ao nascer do Sol?</i>	<i>Lua?</i>	<i>km da superfície da Terra e a velocidade inicial de lançamento?</i>	<i>lançado de 500 km de altura e a velocidade inicial de lançamento? Há conservação de momentum angular para diferentes velocidades de lançamento? É possível confirmar a 2ª Lei de Kepler para as diferentes trajetórias?</i>
Situação-problema	<i>Análise da posição de duas estrelas que formam um sistema binário, com o objetivo de encontrar o período de revolução das estrelas.</i>	<i>Análise da variação da frequência da portadora em função do sinal modulante.</i>	<i>Investigar como o movimento aparente do Sol varia para diversas latitudes observando este movimento nos dias de Solstício (22/Jun e 22/Dez) e de Equinócio (21/Mar e 23/Set).</i>	<i>Análise dimensional e dinâmica de um corpo que oscila preso a um fio sob a ação da força gravitacional.</i>	<i>Análise dimensional e dinâmica de um corpo lançado com velocidade inicial próximo à Terra.</i>	<i>Análise cinética e dinâmica de um corpo lançado com velocidade inicial próximo à Terra.</i>
Referentes reais	<i>Duas estrelas que orbitam em torno de um centro de</i>	<i>Gerador de onda portadora. Gerador de sinal modulante. Modulador.</i>	<i>Terra e Sol.</i>	<i>Terra, Lua, pêndulo simples e suporte.</i>	<i>Terra e foguete.</i>	

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gerônimo	Rosária			
	<i>massa comum, formando um sistema de estrelas binário.</i>					
Idealizações/aproximações	<i>A massa das estrelas é constante, ou seja, não há acréscimo ou perda por processos tais como, formação de estrelas ou nebulosas planetárias. Não há massa de acreção entre as estrelas e não há sobreposição de nenhum campo gravitacional externo às estrelas, portanto, a trajetória é circular e estável. A dimensão das estrelas são pequenas</i>	<i>A frequência da portadora é constante. A modulação da portadora não altera a amplitude da onda. O módulo da frequência da portadora é três ordens de grandeza maior do que a frequência do sinal modulante.</i>	<i>Os únicos movimentos realizados pela Terra são os movimentos de rotação e de translação. Não são considerados a precessão, a nutação e outros.</i>	<i>A força de atrito com o ar e com o ponto de fixação no suporte são desprezíveis. O fio é inextensível. A força gravitacional da Terra e da Lua são constantes. Os resultados são válidos para amplitudes que sejam aproximadamente um quarto do comprimento do fio.</i>	<i>A Terra possui o campo gravitacional uniforme, ou seja, ela é esférica e homogênea. O foguete é lançado com uma velocidade inicial determinada, ou seja, estamos desconsiderando a aceleração que o foguete sofre durante o lançamento. A única interação gravitacional existente é entre a Terra e o foguete. Não existe resistência do ar.</i>	<i>A Terra possui o campo gravitacional uniforme. A Terra é uma esfera homogênea. O foguete é lançado com uma velocidade inicial determinada. Só há interação gravitacional entre a Terra e o foguete. Não existe resistência do ar.</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gerônimo	Rosária			
	<i>se comparadas à distância entre elas, ou seja, não há força diferencial gravitacional (força de maré).</i>					
Resultados conhecidos	<i>Para duas estrelas de mesma massa, o período de revolução será o mesmo.</i>	<i>Com nível de sinal modulante igual a zero, a frequência da portadora é igual à frequência modulada.</i>	<i>Nos dias de equinócio, em lugares localizados na linha do Equador, o Sol nasce exatamente no leste e se põe exatamente no oeste, passando pelo zênite.</i>	<i>Para $g = 0$ não há oscilação.</i>	<i>Quando a velocidade inicial é nula, o foguete executa uma queda livre. Quando a velocidade inicial é nula, o foguete executa uma queda livre. Quando a força centrípeta e a força peso forem iguais e constantes, a trajetória será circular.</i>	<i>Quando a velocidade inicial é nula, o foguete executa uma queda livre. Se imaginarmos um túnel através do planeta, o foguete deve realizar um MHS. Quando a força centrípeta e a força peso forem iguais e constantes, a trajetória será circular.</i>
Predições	<i>Quanto maior a distância entre as</i>	<i>Quanto maior o valor do sinal modulante, maior a diferença entre as</i>	<i>Nos dias de solstício a trajetória do Sol é muito próxima ao horizonte e nos dias de equinócio o Sol passa próximo ao Zênite. A longitude do local não altera a</i>	<i>A razão entre as frequência de oscilação será maior do que a</i>	<i>Teremos uma trajetória circular, trajetórias elíptica,</i>	<i>Para diferentes velocidades de</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gerônimo	Rosária			
	<i>estrelas, maior o período. Quanto maior a massa das estrelas, maior a força gravitacional e menor é o período de revolução.</i>	<i>frequências da modulada e da portadora.</i>	<i>trajetória diária do Sol. Quanto mais próxima a localidade estiver da linha do Equador, mais precisão teremos com essa escolha.</i>	<i>unidade, o que indica que a frequência é diretamente proporcional a gravidade.</i>	<i>parabólica e hiperbólica.</i>	<i>lançamento, teremos trajetórias circular, elíptica, parabólica e hiperbólica. O momentum angular se conserva para todas as trajetórias. A 2^a Lei de Kepler será verificada para todas as trajetórias.</i>
Validação do modelo	<i>Os resultados do modelo corresponde m aos dados obtidos em uma situação real.</i>	<i>Os resultados estimados nas predições confirmaram-se.</i>	<i>Os resultados conhecidos são alcançados com o modelo.</i>	<i>Para $g = 0$, o pêndulo não oscila.</i>	<i>Para uma velocidade inicial igual a zero, o foguete realiza uma trajetória retilínea em direção a Terra. Para valores iguais da força centrípeta e da força peso, a trajetória é circular.</i>	<i>Para uma velocidade inicial igual a zero, o foguete realiza uma trajetória retilínea em direção a Terra. O foguete não realiza MHS por uma limitação do modelo. O modelo não funciona para a distância r menor do</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gerônimo	Rosária			
						que o raio da Terra. Para valores iguais da força centrípeta e da força peso, a trajetória é circular.
Respostas às questões-foco	<p>A partir d gráfico da posição em função do tempo, podemos determinar o período de revolução das estrelas. Este período é determinado pelas variáveis: massa das estrelas, posição inicial das estrelas e velocidade inicial em cada eixo das mesmas.</p>	<p>Quanto maior o valor do sinal modulante, maior a diferença entre a frequência da portadora e da modulada. Esta diferença de frequência ao ser demodulada reproduz o sinal modulante.</p>	<p>Nas datas 21/Mar e 23/Set, conforme a latitude aumenta, a trajetória do Sol é cada vez mais baixa; ele nasce e se põe respectivamente no leste e no oeste, exceto na latitude 90, onde ele aparece 24h por dia.</p> <p>Em 22/Jun, o Sol não nasce exatamente no leste e não se põe exatamente no oeste. Com o aumento da latitude, a trajetória do Sol fica mais próxima ao horizonte. No hemisfério Norte a partir da latitude 68°, há Sol o dia inteiro e no Hemisfério Sul, para latitudes próximas a 68°, é noite o dia inteiro.</p> <p>Em 22/Dez, o Sol não nasce exatamente no leste e não se põe exatamente no oeste. Com o aumento da latitude, a trajetória do Sol fica mais próxima ao horizonte. No hemisfério Norte, a partir da latitude 68°, o Sol não nasce. E no Hemisfério Sul, para latitudes próximas, o Sol não se põe, é noite o dia inteiro. A trajetória do Sol não muda com a variação da longitude.</p> <p>Podemos tomar a direção leste como sendo a que o Sol nasce nos dias de Equinócio.</p>	<p>A razão entre as frequências de oscilação é $f_T/f_L = 2,47$.</p>	<p>Foram observadas uma trajetória circular e trajetórias parabólica, elíptica e hiperbólica. Caso 1: velocidade de escape = $1,076 \times 10^4$ m/s, com trajetória parabólica. Caso 2: velocidade para órbita circular de $7,611 \times 10^3$ m/s, força centrípeta se iguala a força peso e é constante. Caso 3: velocidades com valores intermediários entre a velocidade para órbita circular e velocidade de escape, ou seja, $GM/r < v^2 < 2GM/r$, teremos órbita elíptica, com periélio na posição de lançamento. Caso 4: velocidades menores do que $v^2 = GM/r$, o foguete cai em direção a Terra. Caso 5: velocidade maior do que a velocidade de escape $v = 1,5 \times 10^4$ m/s, trajetória hiperbólica. O momentum angular se conserva para todas as trajetórias. O vetor posição varre áreas iguais em tempos iguais para todos os tipos de trajetória.</p>	

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gerônimo	Rosária			
Possíveis generalizações e expansões do modelo	<i>Incluir a perda de massa das estrelas no modelo.</i>	<i>Demodular o sinal da frequência modulada para reproduzir o sinal modulante.</i>	<i>Este modelo poderia ser expandido para descrever o movimento aparente do Sol em localidades situadas em outros planetas. Neste caso, mais variáveis teriam de ser incluídas (período de translação, excentricidade da órbita e inclinação do eixo de rotação).</i>	<i>Uma possível expansão é considerar a existência de atmosfera terrestre, ou mesmo considerar maiores amplitudes de oscilação. Uma possível generalização é fazer a comparação do sistema massa-mola na vertical para diferentes gravidades.</i>	<i>Inserir a resistência do ar. Considerar a interação com outros campos gravitacionais (Sol, Lua, etc.).</i>	<i>Inserir a resistência do ar. Considerar a interação com outros campos gravitacionais (Sol, Lua, etc.). Inserir comparações de energia cinética e potencial para diversas trajetórias.</i>

Quadro E.5 – Aspectos conceituais explicitados por Gilson e Luis Pedro nas atividades de modelagem computacional, com auxílio do dAVM, apresentadas na forma das Tarefas 9, 10 11, 12 e 13.

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gilson	Luis Pedro			
Simulação ou modelo computacional explorado e/ou construído	<i>moon orbiting around the earth.modellus</i>	<i>Energy Skate Park: Basics (http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/energy-skate-park-basics)</i>	<i>accelerated motion in one dimension.modellus</i>	<i>resistencia.mdl</i>	<i>Modelo computacional construído a partir do interesse dos alunos em estudar o comportamento de corpos carregados em meio a</i>	<i>Modelo computacional construído a partir do interesse dos alunos em estudar circuitos elétricos.</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gilson	Luis Pedro			
					<i>campos elétricos.</i>	
Fenômeno de interesse	<i>MCU e Leis de Newton</i>	<i>Variações de grandezas como energia, velocidade e altura em uma pista de skate.</i>	<i>MRUV</i>	<i>Lançamento de um corpo para o alto.</i>	<i>Comportamento de uma partícula carregada lançada ou abandonada em uma região com campo elétrico.</i>	<i>Comportamento da corrente elétrica em um circuito misto.</i>
Questões-foco	<i>Como seria a órbita da Lua caso a massa da Terra fosse diferente?</i>	<i>Qual a altura mínima que o skatista deve iniciar seu movimento para completar um loop produzido na pista?</i>	<i>É possível um movimento retardado transformar-se em acelerado?</i>	<i>Qual a influência da resistência do ar na velocidade de um corpo em movimento vertical unidimensional?</i>	<i>A trajetória da partícula é influenciada pela intensidade do campo? Quando uma carga é abandonada em um campo elétrico uniforme, sua velocidade varia ou permanece em repouso?</i>	<i>Em que situação a corrente é igual nos dois ramos? Haverá corrente circulando na segunda lâmpada, caso a primeira queime? O brilho das lâmpadas será o mesmo?</i>
Situação-problema	<i>Movimento da Lua em torno da Terra.</i>	<i>Movimento do skatista em uma pista.</i>	<i>Movimento de um dinossauro em uma trajetória retilínea.</i>	<i>Análise do movimento de uma bola lançada verticalmente.</i>	<i>Análise do movimento de uma partícula abandonada ou lançada em um campo elétrico uniforme.</i>	<i>Circuito residencial com pinheiro de natal.</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gilson	Luis Pedro			
Referentes reais	<i>Terra e Lua.</i>	<i>Terra, corpo+skate e pista.</i>	<i>Dinossauro e solo.</i>	<i>Bola, ar e Terra.</i>	<i>Placa eletrizada positivamente. Placa eletrizada negativamente . Partícula.</i>	<i>Lâmpadas, fusível, fonte de alimentação, fios, interruptores, amperímetros, voltímetros e resistor.</i>
Idealizações/aproximações	<i>A órbita da Lua é uma circunferência. Não é considerado o movimento de translação da Terra. Não é considerado o movimento de rotação da Terra. É considerada somente a força de interação entre a Terra e a Lua.</i>	<i>Campo gravitacional uniforme e resistência do ar desprezível.</i>	<i>Desprezada a resistência do ar e o atrito com o solo.</i>	<i>Campo gravitacional uniforme.</i>	<i>Campo elétrico uniforme. É desprezado o campo gravitacional e a resistência do ar. A dimensão das placas que produzem o campo elétrico é muito maior que a distância que as separa.</i>	<i>Fios com resistência desprezível, fonte ideal, amperímetros ideais, voltímetro ideal. Os resistores são ôhmicos. As lâmpadas se comportam como resistores ôhmicos. Fonte de tensão contínua.</i>
Resultados conhecidos	<i>O gráfico da posição em função do tempo é uma reta.</i>	<i>O gráfico da energia versus posição, da energia versus tempo e gráficos de barras de energia.</i>	<i>O gráfico da posição em função do tempo é uma parábola. O gráfico da velocidade em função do tempo é uma reta.</i>	<i>Quanto maior a força de atrito, menor a altura atingida.</i>	<i>A carga atravessa sem mudar direção se o campo é nulo. Se a partícula possuir carga e o campo na região não for</i>	<i>No ramo de menor resistência elétrica, circula maior corrente elétrica. Se uma lâmpada estiver</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gilson	Luis Pedro			
					<p>nulo, atuará uma força sobre ela. Caso a partícula não possua carga, não atuará força sobre ela. A intensidade do campo altera a trajetória da partícula. A massa não interfere na trajetória da partícula. A carga abandonada em repouso na região do campo é acelerada na direção do campo. Se a carga for abandonada na região do campo e este for nulo, a partícula permanecerá em repouso.</p>	<p>interrompida, o amperímetro do ramo correspondente à série marcará zero. Se a fonte marcar tensão zero, os amperímetros também marcarão corrente zero.</p>
Predições	Para massas maiores da Terra e da	A velocidade é proporcional à raiz quadrada da altura.	É possível que o móvel mude de sentido quanto	Se o peso for maior do que a força de	Ao entrar na região do campo	Se a resistência elétrica nos dois ramos for

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gilson	Luis Pedro			
	<i>Lua, teremos uma velocidade de rotação da Lua maior, mas mantendo ainda assim uma força centrípeta com órbita circular.</i>		<i>atinge velocidade zero.</i>	<i>resistência do ar, o movimento é acelerado. Se a força de resistência do ar for igual ao peso, o movimento é uniforme.</i>	<i>elétrico, a carga fica sujeita à ação de uma força que altera o seu movimento.</i>	<i>a mesma. Somente interrompe o ramo que queimou. Não haverá circulação de corrente, caso a primeira lâmpada queime.</i>
Validação do modelo	<i>Os resultados conhecidos são alcançados com o modelo.</i>	<i>Os resultados conhecidos são alcançados com o modelo.</i>	<i>Os resultados conhecidos são alcançados com o modelo.</i>	<i>Os resultados conhecidos são alcançados com o modelo.</i>	<i>Os resultados conhecidos são alcançados com o modelo.</i>	<i>Os resultados conhecidos são alcançados com o modelo.</i>
Respostas às questões-foco	<i>Como existe apenas uma força de interação sobre a Lua e esta é centrípeta, então, sua trajetória é circular.</i>	<i>A altura deve ser duas vezes e meia o raio do loop.</i>	<i>Ocorreu a mudança de movimento de retardado para acelerado após atingir velocidade zero e a mudança de sentido.</i>	<i>A resistência do ar impede que a velocidade do corpo cresça até o solo. Para cada corpo existe uma velocidade limite que depende de fatores como massa, aerodinâmica, etc.</i>	<i>Dependendo do sinal da carga, a força que age sobre ela atua no sentido do campo ou contrário a ele. Positiva: mesmo sentido. Negativa: sentido contrário. Se a intensidade do campo for zero, a partícula não</i>	<i>Se a resistência elétrica nos dois ramos for a mesma. Não haverá circulação de corrente, caso a primeira lâmpada queime. Não necessariamente, depende das resistências das lâmpadas.</i>

Campos do dAVM	Tarefa 9	Tarefa 10		Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13
		Gilson	Luis Pedro			
					<i>altera a direção do movimento.</i>	
Possíveis generalizações e expansões do modelo	<i>Órbita de um planeta em torno do Sol.</i>	<i>Incluir a resistência do ar.</i>	<i>Movimento do dinossauro em um plano com atrito.</i>	<i>Incluir parâmetros de b, tais como a forma, etc.</i>	<i>A inserção de um campo magnético ou gravitacional.</i>	<i>Inserção de condutores e resistores não ôhmicos.</i>