

# O ENSINO DE TEORIAS FÍSICAS MEDIANTE UMA ESTRUTURA HISTÓRICO-FILOSÓFICA<sup>1</sup>

## *The teaching of physics theories in a historical-philosophical structure*

Irinéa de Lourdes Batista<sup>2</sup>

**Resumo:** A contribuição da História e Filosofia da Ciência para o ensino de Física tem sido tema de várias pesquisas preocupadas com a conexão dessas três áreas, particularmente com a explicitação da relação história–filosofia–cognição. Nosso trabalho se insere no contexto do desenvolvimento de referenciais teóricos que auxiliem na criação de instrumentos de aperfeiçoamento de uma capacidade analítica para a implementação de uma aprendizagem de conceitos e teorias físicas de forma estruturada, articulada e integrada, e que demonstrem a organicidade da relação citada. Esse processo envolve a identificação e caracterização de modelos científicos por uma reconstrução histórico-filosófica que pressupõe a superação dessa modelagem – uma prototeoria – para a obtenção de uma teoria abrangente. Como exemplar de análise, apresentamos uma aplicação ao estudo concernente ao entendimento do decaimento  $\beta$ , que leva à primeira identificação das interações fracas, e é direcionada a estudantes de graduação ou à formação de professores em serviço.

**Unitermos:** História e Filosofia da Ciência; ensino de Física; modelos; prototeoria; estrutura teórico-conceitual.

**Abstract:** *The role of History and Philosophy of Science for Physics teaching has been theme of several worried researches with the correlation of those three areas, particularly with explicit relationship history-philosophy-cognition. Our research is inserting in the context of the development of theoretical references for the creation of instruments to improve an analytic capacity which implements a learning of concepts and physical theories in a structured, articulated and integrated mode. These involve the identification and characterization of scientific models by historical-philosophical reconstruction which presupposes the overcome of that modeling – a prototheory – for the obtaining of an universal theory. As exemplar of analysis, we present an application to the study of  $\beta$  disintegration (first identification of weak interaction) addressed for undergraduate students or in-service teacher education.*

**Keywords:** *History and Philosophy of Science; Physics teaching; models; prototheory; conceptual- theoretical structure.*

### Introdução

Para ponderarmos a respeito dos vários problemas no ensino da Física, abordamos como referenciais teóricos os campos de conceitualização que consideramos mais relevantes para o nosso trabalho, quais sejam, as estruturas conceituais, as concepções prévias e a contribuição do enfoque histórico-filosófico para o ensino da Física. Enfatizamos o papel que a História e a Filosofia da Física podem desempenhar, como subsídio para a melhoria do ensino de Física, pela relação que esses domínios de conhecimento possuem e demonstram com as estruturas cognitivas de conhecimento e com as concepções prévias, como fonte de exemplares históricos analiticamente estudados que mostram a estrutura e a dinâmica da construção de uma teoria, como também fonte de concepções alternativas (que podem ser competidoras ou não) de explicações e conceitos. Apresentamos, como resultado, um estudo no qual discutimos a construção de teorias e explicações científicas e os elementos que as estruturam, articulam e dinamizam, com enfoque na discussão sobre a enunciação e construção de modelos como subsídio para o ensino de Física.

<sup>1</sup> Esta é uma versão revisada e ampliada de nosso trabalho apresentado no IX EPEF, sendo parcialmente apoiado pela Capes e Fundação Araucária.

<sup>2</sup> Depto de Física/Universidade Estadual de Londrina. (e-mail: irinea@uel.br)

Em nossa investigação da busca de uma estrutura para construção de teorias baseadas em modelos nos deparamos com uma questão epistemológica no processo de passagem dos modelos construídos para a nova elaboração teórica, a qual uma vez bem estabelecida é alçada ao patamar de teoria: como se dá esse processo de passagem? Ele é direto, sem uma etapa intermediária na qual ocorram reformulações aperfeiçoadoras de uma síntese conceitual inovadora? Esta seria uma situação que consideraríamos imprópria, pois conhecemos ao longo da história da ciência vários processos construídos de sínteses chegando a atingir o coroamento da coerência teórica. Assim, pareceu-nos necessário haver uma instância emergente e diferente dos modelos, um elemento epistemológico (mas com fundamentações filosóficas) com compromissos ligados à estabilidade teórica, sem amarras a conceitos anteriores (com independência epistêmica de suas origens) e propositor de novas entidades para o estudo científico. Para responder a essa lacuna conceitual criamos a concepção de *prototeoria*, etapa intermediária entre o modelo e a teoria.

Diferentemente dos modelos, que são uma aquisição intelectual mediada do desconhecido em termos do conhecido, a prototeoria propõe elementos conceituais novos que deverão ser confirmados, tendo como conseqüência uma nova teoria propriamente dita. Todavia, a contribuição da prototeoria não é tão somente a sua potencialidade heurística, mas o fato de que extraia objetivamente, do processo de investigação de construção e estruturação de um dado conhecimento, qual é a essência e o próprio vir-a-ser do período de transição e consolidação de uma nova teoria. A compreensão desse processo torna-se um recurso de análise metodológico, epistemológico, ontológico, historiográfico e, com as devidas adaptações, em recurso didático.

### Reflexões sobre o Ensino de Física

Quando nos dedicamos à melhoria do ensino de Física, estamos grandemente sensibilizados pelos problemas que, em geral, atingem o ensino de forma global. No entanto, em relação à Física, temos características especiais quanto às dificuldades de compreensão e fixação de conceitos que muitas vezes exigem, nesses processos, grande abstração, interpretação e reflexão para serem aprendidos pelo aluno.

Os alunos no ensino superior, por exemplo, reproduzem fielmente a Lei da Inércia e demonstram impaciência quando aprofundamos uma explicação apresentando várias maneiras de esclarecê-la. Dessa forma, muitas vezes eles, implicitamente, nos convencem da redundância de tal empreendimento. No entanto, esses mesmos alunos nos surpreendem com erros conceituais em exercícios ou discussões que envolvam tal lei. Um exemplo disso é a hesitação que encontramos nos alunos, em nossa prática em sala de aula, quando fazemos uma pergunta célebre dos pensadores peripatéticos a respeito do movimento de rotação da Terra: – se a Terra gira em torno do seu eixo, por que quando soltamos uma pedra de cima de uma torre, essa pedra cai ao pé dessa torre e não para trás dela?

Uma outra situação se dá quando é requisitada a análise do movimento de uma esfera descendo por um plano inclinado, na qual se pede a velocidade do centro de massa da esfera no fim desse plano, levando-se em conta o momento de inércia da esfera. Surpreendentemente, ao utilizarem a Lei da Conservação da Energia Mecânica, fazem a transformação da energia potencial da esfera em energia cinética rotacional, ignorando a translacional (e as possíveis perdas). É evidente, novamente, que conceitos fundamentais como os de referencial inercial e coeficientes de inércia estão muito pouco relacionados com a cultura científica que esses alunos possuem.

O que se pode perceber é que os alunos, apesar de enunciarem uma determinada lei da Física, não compreenderam todo o seu significado. Por outro lado, uma vez que eles têm idéias próprias sobre o movimento, construídas ao longo de suas experiências de vida, vemos

também que elas não sofreram confrontações ou reformulações mediante o ensino escolar, mesmo que esses alunos tenham obtido sucesso nas etapas escolares<sup>3</sup>. Isso significa que saber apresentar e operacionalizar o enunciado de uma lei não é, segundo uma formação que permite uma evolução escolar desse tipo, saber estabelecer as relações entre conceitos e atingir um todo conceitual. Dessa forma, os alunos não percebem a estrutura teórico-conceitual, formada por conceitos, leis e princípios, que explica determinado fenômeno.

Sabemos que a tomada de consciência de tal estrutura não é fácil, uma vez que a própria estrutura não é simples. Consideramos, como já dissemos, a Física estruturada a partir de conceitos, leis e princípios, formando teorias que usam uma linguagem matematizada e possuem o compromisso de consistências lógicas e empíricas. No entanto, temos na Física, fatores não lógicos, uma vez que a observação e a percepção são influenciadas pela cultura dos indivíduos e pelos pressupostos teóricos embutidos nos métodos experimentais e na análise de dados obtidos.

A investigação científica é um modo de estender nossa percepção do mundo, e não principalmente um modo de obter conhecimento sobre ele. Existe, desse modo, uma implicação direta entre o cientista e a percepção/observação, uma inter-relação entre a percepção/observação e cultura, dando-nos como produto, a ciência.

Desses primeiros indícios, temos a complexidade na compreensão do conhecimento físico como processo de construção. Um processo que, como tal, se dá guardando uma estrita relação com a própria evolução humana, qual seja, plena de racionalidade, mas também de conflitos, impasses, saltos e cortes conceituais. Essa complexidade fica majorada se os conhecimentos são apresentados de forma dogmática, restritos a uma aprendizagem das leis e fórmulas que as exprimem e, daí, o seu uso, com uma finalidade utilitária de aplicação em uma profissão. Desse modo, tem-se a impressão de que a ciência está acabada, com nada mais a se descobrir, quando, na verdade, estamos nos primeiros passos do conhecimento do mundo exterior.

O que acreditamos é que o ensino das ciências físicas deve dar significado à evolução humana, para fazer compreender e admirar o grande esforço coletivo de adaptação e transformação representado pela nossa ciência. A redução da Física à pura técnica, em certos casos; à técnica experimental e, em outros, à técnica matemática para a dedução lógica de conseqüências dos axiomas da teoria, evita questionamentos conceituais no seu ensino e gera uma formação limitada, estreita e acrítica. Assim, a investigação e o ensino da Física não devem ignorar simetricamente os avanços e os contrastes históricos que deram origem às idéias científicas atuais.

Para ponderarmos a respeito dos vários problemas já levantados no ensino de Ciências, especificamente da Física, vamos usar como referenciais teóricos aspectos que consideramos mais relevantes para o nosso trabalho, quais sejam, as estruturas conceituais, as concepções prévias e a contribuição do enfoque histórico-filosófico para o ensino da Física. A importância desses aspectos quanto à tomada de conhecimento de conteúdos e os problemas decorrentes disso, mais a relação entre esses aspectos, é que vão nortear nossas análises.

## 2. As Estruturas no Processo de Aprendizagem e na Construção da Ciência

A existência de estruturas conceituais é reconhecidamente importante, para J. Piaget e D. Ausubel, no processo de aprendizagem e, assumindo esse pressuposto, é na explicitação dessas estruturas que acreditamos estar uma maneira de contribuir com a melhoria do ensino da Física. Apresentaremos, de maneira sintética, uma conceituação de estrutura conceitual e de

<sup>3</sup> Convidamos o leitor a obter um estudo detalhado sobre problemas de aprendizagem em Mecânica relacionando concepções alternativas e história da ciência em Batista (1993).

aprendizagem significativa concebida por esses dois autores, baseada em Chiarottino (1980) e Mizukami (1986) para J. Piaget, e em Moreira (1982) para D. Ausubel.

As estruturas mentais de cognição, para Piaget, são resultados de uma construção realizada pelo indivíduo a partir de sua interação com o meio fornecedor de informações, desde que esse meio seja realmente interventor e criador de problemas (ou de estímulos), e que o indivíduo tenha capacidades endógenas para ser perturbado e responder aos problemas.

O indivíduo – a partir de seus esquemas motores que inicialmente derivam-se de reflexos a acontecimentos, mas, por assimilação e acomodação, vão ser passíveis de modificação – vai compensar as perturbações, por meio de adaptação progressiva, até obter o equilíbrio e com isso construir estruturas específicas para o ato de conhecer.

A aprendizagem implicará, então, numa estruturação, ou seja, numa interação das estruturas cognitivas com os novos acontecimentos, atribuindo-lhes significações, portanto, assimilando-os às estruturas mentais. A educação consistirá em desenvolver o raciocínio, mediante a proposição de situações de desequilíbrio, nas quais a ação do indivíduo buscará um objetivo ou fim pré-estabelecido por ele mesmo. Para Piaget, os domínios mais adequados para as atividades criadoras seriam especialmente o da Matemática e o das Ciências, nas quais a atividade de pesquisa e as situações problemáticas seriam o melhor método para a aquisição de conhecimento e para a construção da própria inteligência pelo indivíduo.

Em Ausubel, encontramos uma teoria na qual o conceito central é o da aprendizagem significativa, que é o processo pelo qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, sendo essa estrutura advinda de abstrações de suas experiências e possuidora de uma hierarquia entre os conceitos. O aspecto relevante com o qual a nova informação se relaciona tem o nome específico de *subsunçor* (idéia-âncora), significando um conceito ou proposição mais ampla, que age como subordinador de outros conceitos (novos ou não) na estrutura cognitiva e como ancoradouro no processo de assimilação. Esse processo de subsunção se explica pelo princípio de assimilação. A interação entre tais conceitos modifica e diferencia o próprio subsunçor, caracterizando a aprendizagem significativa.

NOVA INFORMAÇÃO • ⇔ • SUBSUNÇOR  
• ANCORAGEM •

O processo contínuo de interação que o indivíduo estabelece com os novos conceitos exige uma preocupação com a programação do conteúdo, pensando-se especificamente nas questões de ensino. Assim, serão importantes as formas para proporcionar a diferenciação progressiva, explorar explicitamente as relações entre proposições e conceitos, chamar a atenção para diferenças e similaridades, reconciliar inconsistências reais ou aparentes, entre os conceitos. Desse modo atinge-se a reconciliação integrativa, que é a antítese à prática usual dos livros-texto (separação de idéias e tópicos em capítulos e seções). Um dos recursos instrucionais desenvolvidos a partir desses princípios e, visando uma aprendizagem significativa, é o mapa conceitual. Ele é, num sentido amplo, um diagrama indicando relações entre conceitos; neste caso específico, se torna um diagrama hierarquizado que procura refletir a organização conceitual de um estudo, uma disciplina, ou aula. Cabe ainda ressaltar que não existe "o mapa conceitual", pois existem várias maneiras de traçar um mapa, dependendo sempre do entendimento e interpretação dados pelo sujeito criador.

Em relação à questão da estrutura, há ainda uma outra dimensão relevante para a compreensão da Física, ou seja, na forma de um produto complexo de investigações científicas. Tal como apresentado por Robilotta (1988), o mapa conceitual pode representar um conjunto de relações lógico-matemáticas de uma teoria e também representar um conteúdo associado à totalidade de

tal teoria. Nesse último caso, um conceito que é essencial a uma teoria tem seu significado determinado pelo seu contexto, pela sua posição na estrutura conceitual dada. Desta forma, temos um jogo no qual o todo dá significado às partes que, por sua vez, constituem o todo.

*No caso da Física, esse jogo acontece porque o conhecimento está organizado em estruturas teóricas que, como quaisquer estruturas, tendem a ser autocontidas e a se auto-explicar. (Robilotta, 1988, p. 10)*

Queremos, com isso, enfatizar que a Física é mais do que a soma de suas várias partes (termodinâmica, eletrostática etc.); ela tem uma unidade própria, tem identidade e estrutura; cada parte desempenha sua função, se articula com as demais, como as partes de um corpo ou organismo. Esta característica é importante para se contrapor à visão fragmentada que muitas vezes está presente no ensino.

É importante evidenciar que para o nosso trabalho estamos tomando como referência Piaget para o tratamento de aprendizagem avançada, na qual os ganhos cognitivos pelo processo de construção ocorrem em sujeitos adultos que já detêm estruturas formais estabelecidas, e em Ausubel com subsunçores que já atingiram o nível abstrato nos sujeitos em questão, e que estão ancorados em teorias da ciência clássica em transição para a ciência contemporânea. Com esta síntese, nossas reflexões sobre o papel da estrutura no processo de aprendizagem têm por objetivo buscar um referencial para pensar na maneira pela qual as discussões sobre os conceitos e teorias poderiam contribuir para o ensino da Física.

### **A investigação histórico-filosófica e o ensino da Física**

Além dos dois aspectos apresentados nos itens anteriores, apresentamos, agora, uma discussão sobre o papel que a História e a Filosofia da Física podem desempenhar, como subsídio, para a melhoria do ensino de Física. Este papel se estabelece com a relação que esses domínios de conhecimento possuem e demonstram com as estruturas cognitivas de conhecimento e com as concepções prévias; como fonte de exemplares históricos analiticamente estudados que mostram a estrutura e a dinâmica da construção de uma teoria e como também fonte de concepções alternativas (que podem ser competidoras ou não) de explicações e conceitos.

A partir de nossa pesquisa sobre a contribuição de uma abordagem histórico-filosófica no ensino de Física, desenvolvemos um referencial de trabalho no qual procuramos abordar a construção de teorias e de explicações científicas e os elementos que as estruturam, articulam e dinamizam, com enfoque na discussão sobre a enunciação e construção de *modelos*, mas com o compromisso (pressuposto) epistêmico de aperfeiçoá-los e mesmo superá-los.

Como elementos nucleares, explicitamos o *perfil estrutural*, que mostra como se dá a construção de um conhecimento específico, que fornece instrumentos para realizar a análise filosófica do objeto de estudo e, ao mesmo tempo, subsidia o desenvolvimento de uma estrutura consistente, integradora de adaptações e transformações didáticas. E apresentamos, também, o *perfil articulador*, responsável pela inserção de um determinado conhecimento em uma teoria mais abrangente e, conseqüentemente, em um corpo maior de uma ciência, que nos propicia condições para analisar a dinâmica conceitual de um tema em estudo, bem como o desenvolvimento da conexão entre os conteúdos estudados e o seu aprimoramento, ressaltando as relações que se estabeleceram entre eles, além de nos mostrar como articular tais conteúdos em uma *elaboração didática*. O desenvolvimento de tal referencial teórico para análise é resultado da construção e aplicação de diversos estudos que realizamos a respeito da formação inicial e em serviço de professores.

Para a nossa exposição crítico-analítica sobre a construção de modelos<sup>4</sup>, faremos uma reconstrução com base no texto de I. B. Novik (In: KUZNETSOV, I. V. & OMEL'YANOVSKII, M. E., 1965, p. 381.), do qual retiramos alguns conceitos, mas realizamos uma formulação e uma sistematização diversas das propostas por esse autor, principalmente no que diz respeito ao conceito de construção-de-modelos e na introdução de uma nova conceituação, a *prototeoria*.

Para Novik, o conceito de modelo deve ser generalizado a fim de que a compreensão de um modelo não seja confinada à interpretação no espírito da Física Clássica como um sistema pictórico (isto é, mecânico); o modelo deve ser considerado, no espírito do estágio hodierno de investigação, como uma estrutura lógico-matemática.

Essa abordagem ao modelo-construído é justificada pela importante regularidade do processo cognitivo moderno, que é associado a um importante incremento no papel da categoria de relação. Nós podemos compreender a natureza de entidades atômicas e subatômicas na forma de modelos, mas os modelos neles mesmos não são pictóricos, ou, de alguma forma, o conceito exato de ilustração precisa sofrer uma generalização radical.

Assim, acatando a crítica desse autor, se a primeira característica principal de construção de modelo é a redução nele de elementos de ilustração, então a segunda peculiaridade em nossa definição é o papel realçado (na cognição) de modelos consistindo de elementos lógicos. Dotando esses elementos lógicos com uma relativa independência e considerando-os como objetos de investigação, os cientistas têm estendido drasticamente as possibilidades cognitivas de fazer modelos.

A construção de modelos lógicos é um potente acelerador do conhecimento físico dos dias atuais. Hoje, a compreensão física não presume uma representação mecânica, pictórica, do processo físico. Nós vemos que não só o conceito de modelo, mas ainda a idéia de compreensão física é generalizada na teoria do conhecimento.

Assim, com o objetivo de esclarecer o que enunciamos como o conceito de modelo, formulamos um conceito generalizado de construção-de-modelos: é um método de aquisição mediada do conhecimento em que a entidade sob estudo é investigada via outro objeto, que está em certa correspondência com o primeiro e é capaz de substituí-lo durante certos estágios do processo investigativo (cognitivo).

De acordo com essa definição, um modelo é uma entidade natural ou artificial, relacionada, de alguma forma, à entidade sob estudo ou a alguns dos seus aspectos. Esse modelo é capaz de substituir o objeto (entidade) em estudo (isto é, de servir como uma “*quasi-entidade*” relativamente independente), e de produzir (sobre essa investigação) certos conhecimentos mediados concernentes à entidade sob estudo.

A importância do conceito generalizado de modelo na Física Moderna, por exemplo, é particularmente evidente quando nos propomos a considerar a função epistemológica da construção de modelo. Se do ponto de vista ontológico, construção de modelo é uma correlação de uma nova entidade com algo já relativamente estudado, então do ponto de vista epistemológico, sua construção é uma forma de relacionamento entre uma teoria emergente e uma teoria já estabelecida; isto nos permite raciocinar sobre o desconhecido com base no conhecido.

Os modelos mecanicistas (pictóricos) servem como uma ligação conectora entre novos fenômenos físicos e teorias físicas antigas. Um exemplo de modelo pictórico nesses termos seria o modelo planetário do átomo baseado na analogia entre o átomo e o sistema solar

---

<sup>4</sup> A nossa escolha pela construção de modelos se deu a partir de uma longa conversa com Newton C. A. da Costa a respeito de modelos na Física e as várias imprecisões conceituais percebidas em textos gerais usados na formação superior inicial, na literatura específica em vários campos do saber, bem como em nossa busca de um esclarecimento mais aprofundado. Há também de se ressaltar a análise de teorias elaboradas por princípios; nessa perspectiva sugerimos consultar a interessante obra “Princípios: seu papel na filosofia e nas ciências” (DUTRA, L. H. A. & MORTARI, C. A. (org.), NEL/UFSC, Florianópolis, 2000).

– plenamente de acordo com o espírito da Física do século XIX. É um exemplo clássico de um modelo construído via analogia, raciocinando sobre o desconhecido por meio do conhecido, mas sem preocupações com peculiaridades ontológicas.

Entretanto, no desenvolvimento da cognição, um “modelo” é empregado em conexão com um diferente tipo de problema: não está em questão relacionar novos fatos a velhas teorias, mas em passar de velhas para novas teorias. Quando um novo fato está estabelecido no conhecimento físico, uma primeira tentativa é feita para interpretá-lo nas bases das idéias teóricas existentes, por meio de uma ligeira modificação sem qualquer suposição radicalmente nova. Se não há sucesso, recorre-se a novas suposições. Aqui, o *modelo de analogia* é substituído por um *modelo de hipótese*,<sup>5</sup> que é uma forma preliminar de explicar novos fenômenos que não são explicados pela teoria antiga. Esse tipo de construção-de-modelo é de grande valor prático e é particularmente importante no desenvolvimento da Física de Partículas Elementares, exemplar histórico que apresentaremos como o vir-a-ser de uma nova teoria.

Na construção de modelo de hipótese temos que a sua elaboração não é o resultado, mas só o ponto de partida do conhecimento lógico. A ênfase é desviada para o segundo estágio: a investigação do modelo construído, cujo resultado é a transição para a formulação de uma teoria consistente, coerente, de uma entidade física definida.

Em síntese, então, um modelo com esses compromissos não é só uma forma de relacionamento entre uma teoria antiga e uma nova, é também uma forma de transição para uma nova teoria, uma forma de interpretação preliminar dos fenômenos físicos novos e também não-familiares que não são abrangidos pela teoria pré-existente.

Essa visão geral da construção-de-modelo indica que no processo cognitivo, o ato de modelar é tão inerente quanto a divisão entre conhecido e desconhecido. A função epistemológica da construção-de-modelo está intimamente ligada à natureza preliminar do conhecimento na forma de modelo. O modelo, assim o consideramos, é a primeira forma de compreensão teórica de novas entidades, que gera freqüentemente contradições aparentes em nossa compreensão dessas novas entidades à luz da antiga teoria. Por essa razão, ele é, como era, uma exigência para uma teoria consistente, não-contraditória, que estimule o desenvolvimento de uma compreensão teórica sobre o assunto.

Podemos eleger os principais fatores associados a uma interpretação generalizada do método de construção-de-modelo:

- a correspondência objetiva entre o modelo e o que está sendo modelado;
- um modelo pode figurar como um substituto para o objeto sob estudo (modelo como *quasi*-objeto);
- a natureza da imagem e a natureza do objeto no processo de construção-de-modelo formam uma unidade, como aspectos de dois estágios inseparáveis desse processo;
- a função heurística: uma explicação preliminar do fenômeno que não tem qualquer outra explicação na antiga teoria.

Para discutirmos o papel dos modelos no processo de formação e desenvolvimento das teorias, tendo como exemplo a Física das partículas elementares, podemos dividir os modelos usados no processo cognitivo em dois tipos:

<sup>5</sup> *Explicitamos que estamos usando a expressão “modelo de” significando “modelo por meio de elaboração de”.*

- modelos ilustrativo-metodológicos (mais clássicos);
- modelos heurísticos (preliminares, incompletos, pontos de partida para uma explicação).

Dependendo do grau de expressão da natureza da entidade a ser modelada, julgamos pertinente dividir os modelos heurísticos em fenomenológicos (descrevem certos aspectos que caracterizam o modo como um processo físico se desenvolve, mas não explicam por que ele ocorre precisamente daquela maneira) e tipo-essência (fornece certas interpretações preliminares das essências e causas do processo físico).

Os modelos fenomenológicos incluiriam modelos classificatórios que percebem regularidades específicas nas relações das entidades físicas, mas não são capazes de explicar suas essências. Eles têm seu papel, têm largo uso (por exemplo, a teoria de Dirac do elétron faz uso de um modelo representando o elétron na forma de um ponto enquanto que em teorias não-locais o elétron é visto como uma nuvem difusa), mas têm valor limitado na elaboração da teoria das partículas elementares, pois não são tão heurísticos como os modelos de sistematização.

Para caracterizar os elementos que servem como objeto de construção-de-modelo, os modelos tipo-essência são convenientemente divididos em lógico-matemáticos e em ontológicos. Os modelos lógico-matemáticos são sistemas de elementos lógico-matemáticos, cuja estrutura é análoga à estrutura das entidades físicas; se eles possuem tal estrutura em um grau inferior, chamamo-los de modelos lógico-matemáticos fenomenológicos e, se eles a possuem em um grau superior, chamamo-los de modelos lógico-matemáticos tipo-essência.

Os modelos ontológicos servem como suposições iniciais concernentes às peculiaridades essenciais (do que existe) de certos domínios da realidade física. O reconhecimento dessas peculiaridades de existência real permite obter resultados teóricos importantes.

A matematização da Física exerce um papel inquestionável para o alcance e a estabilidade de suas teorias, contribuindo para a sua cognoscibilidade, intersubjetividade e universalização. Sendo assim, em qual sentido e em quais condições os elementos do aparato matemático podem ser considerados um modelo na investigação física?

- O aparato matemático deve expressar uma condição de conteúdo básico: analogia com os respectivos aspectos do processo físico. Tal analogia é de natureza específica, que não se reduz a uma correspondência elemento-a-elemento entre o modelo e o objeto sendo modelado.
- Ocorre a presença de um isomorfismo de um tipo especial: a alguns aspectos do processo físico corresponde uma expressão matemática tomada com uma certa integralidade que não pode ser decomposta em quaisquer elementos separados.

Por exemplo, a estrutura da equação de Dirac, para a eletrodinâmica quântica (QED) como um conjunto, é uma analogia de certos aspectos significantes no comportamento do elétron e, por esta razão, quando investigando a equação, obtemos informação sobre o elétron de forma mediada.

Empregamos o termo modelo lógico-matemático para assinalar a diferença essencial entre modelos matemáticos e modelos de símbolos. A linguagem matemática tem sua própria lógica, que é relativamente independente da lógica de um processo físico e, por essa razão, reproduz o conteúdo físico indiretamente. Em contraste, modelos de símbolos gravam diretamente a estrutura do objeto a ser modelado e não têm sentido fora da estrutura criada.

A tarefa essencial de um modelo consiste, como já dissemos, em dar uma interpretação preliminar para um novo fenômeno. Assim, o formalismo matemático pode ser um

desenvolvimento prévio para a elaboração de uma teoria física consistente e para experimentações decisivas. Nesse caso, o modelo matemático é construído a partir de um fenômeno cuja natureza física ainda não foi revelada; tal construção não é feita por analogia mas por uma extrapolação matemática chamada de método de hipóteses matemáticas.

O formalismo matemático, desse modo, é capaz de dar não somente um esquema de cálculo para estudos quantitativos de um fenômeno de natureza qualitativa desconhecida, como também de descrever essa própria natureza qualitativa para a qual nenhum método consistente de solução quantitativa da equação apropriada ainda existe. Tal é o caso, na Física Moderna, com respeito à não-linearidade das equações, a qual é considerada como uma expressão de um aspecto qualitativo fundamental das partículas elementares: suas capacidades de auto-ação e auto-influência. Aqui o formalismo matemático compreende um aspecto essencial de relação das partículas elementares, mas os métodos quantitativos de solução de tais equações não são ainda totalmente satisfatórios.

Os modelos lógico-matemáticos fenomenológicos podem incluir modelos gráficos, que não objetivam explicar um processo físico, mas produzem um esquema pictórico conveniente por realizar cálculos e previsões. Exemplo disso são os diagramas de Feynman, que dão uma representação esquemática do mecanismo de interação entre partículas elementares.

O segundo tipo de modelo matemático produz uma interpretação do processo como um conjunto, não somente incorporando suas relações quantitativas, mas também descrevendo qualitativamente certas relações essenciais de um dado processo ou fenômeno, e é o mais importante para o desenvolvimento do conhecimento físico. Este segundo tipo de modelo matemático, modelos matemáticos tipo-essência, dá uma descrição mediada da natureza qualitativa do processo físico.

Algumas posições intermediárias podem existir entre os dois tipos: de um lado, um modelo elabora um padrão fenomenológico de cálculo que não pressupõe qualquer nova propriedade do processo físico, mas, por outro lado, de suas relações matemáticas surgem idéias tipo-essência fundamentais (por exemplo, as relações de dispersão e a invariância relativística).

Assim, a natureza racional da construção de modelos consiste, primeiramente, no fato de que ela será consistentemente substanciada no desenvolvimento subsequente da teoria; posteriormente, ela avança não em uma estatística simples e arbitrária, do tipo máquina de checar hipóteses, mas sim pela adição de certas condições objetivas.

Consideramos quatro condições do tipo ontológico para o seu avanço:

- Um modelo (ontológico) precisa responder às necessidades existentes racionalmente definidas.

Na Física Moderna, as necessidades matemáticas assumem o papel de um importante fator teórico que produz um efeito sobre a lógica da pesquisa física, pois um aspecto característico de um modelo ontológico físico é seu relacionamento orgânico com um modelo matemático apropriado.

- As novas idéias que fundamentam um modelo precisam ser necessárias e suficientes para suplantarem – ao menos, de início – as dificuldades da teoria em questão.
- Em modelos novos, a quantidade de informação obtida tem de ser maior que aquelas perdidas pela substituição do modelo aceito.
- Não introduzir fatores tão exóticos que estejam fundamentalmente além do escopo da inteligência humana.

Ressaltamos que compreendemos modelos matemáticos, relacionando-os com a primeira condição, como instrumentos matemáticos com novas peculiaridades estruturais que freqüentemente envolvem uma rejeição de axiomas matemáticos “ordinários”.

Em nossa investigação da busca de uma estrutura para construção de teorias baseadas em modelos nos deparamos com uma questão epistemológica no processo de passagem dos modelos construídos para a nova elaboração teórica, a qual uma vez bem estabelecida é alçada ao patamar de teoria: como se dá esse processo de passagem? Ele é direto, sem uma etapa intermediária na qual ocorram reformulações aperfeiçoadoras de uma síntese conceitual inovadora? Esta seria uma situação que consideraríamos imprópria, pois conhecemos ao longo da história da ciência vários processos construídos de sínteses chegando a atingir o coroamento da coerência teórica. Assim, pareceu-nos necessário haver uma instância emergente e diferente dos modelos, um elemento epistemológico (mas com fundamentações filosóficas) com compromissos ligados à estabilidade teórica, sem amarras a conceitos anteriores (sem compromissos epistêmicos com suas origens) e propositor de novas entidades para o estudo científico. Para preencher essa lacuna conceitual criamos a concepção de *prototeoria*<sup>6</sup>, etapa intermediária entre o modelo e a teoria.

Definimos *prototeoria* como a concepção que nasce de modelos heurísticos, que têm primeiro uma instância fenomenológica e depois uma instância tipo-essência, e que deve amadurecer para se tornar uma teoria. Na instância fenomenológica, tem-se a participação de modelos classificatórios já sistematizados. Na instância tipo-essência, participam modelos lógico-matemáticos superiores, cujas estruturas matemáticas estão em analogia com a estrutura de entidades físicas e que já produzem uma ontologia das entidades em estudo.

A *prototeoria* possui, assim, força heurística suficiente para ser testada racionalmente e pode ser reconstruída historicamente, a partir de uma análise retrospectiva em que identificamos quais as bases conceituais que levaram a uma teoria bem-sucedida. É significativo ressaltar que encontramos na literatura da área científica e da filosofia da ciência uma imprecisão de variado enfoque a respeito de termos como teoria, hipótese, modelo, enunciado, dentre outros, muitas vezes apresentados como de mesmo estatuto epistemológico ou, ainda mais confuso, como sinônimos. Para a nossa análise, considerando que tal ambigüidade implica em falta de clareza e profundidade para a compreensão da construção do conhecimento científico, é importante enunciar o que entendemos por teoria científica, seja ela de alcance específico ou universal.

Entendemos uma *teoria física* como uma elaboração que seja coerente com os aspectos empíricos com os quais ela se relaciona, com o maior grau de abrangência – no sentido de explicar os dados experimentais já conhecidos e quaisquer outros novos que vierem a existir – e que seja coerente segundo uma lógica escolhida, seja ela clássica ou heterodoxa, na sua estrutura matemática, no seu domínio de aplicabilidade e com um conjunto de regras que permitam conectar a teoria com uma estrutura lógico-matemática e com o domínio empírico estabelecido<sup>7</sup>. Com tal concepção, procuramos não cair em algum erro epistemológico com uma conceitualização excessivamente rigorosa do que seja uma teoria física.

A diferenciação entre a *prototeoria* e modelos heurísticos é que, diversamente destes últimos, que são uma aquisição intelectual mediada do desconhecido em termos do conhecido, a *prototeoria* propõe elementos conceituais novos (nova ontologia) que deverão ser confirmados, tendo como consequência uma nova teoria propriamente dita. Todavia, o que coloca a discussão da *prototeoria* não é tão somente a sua potencialidade heurística, mas o fato de que extraia objetivamente, do processo de

---

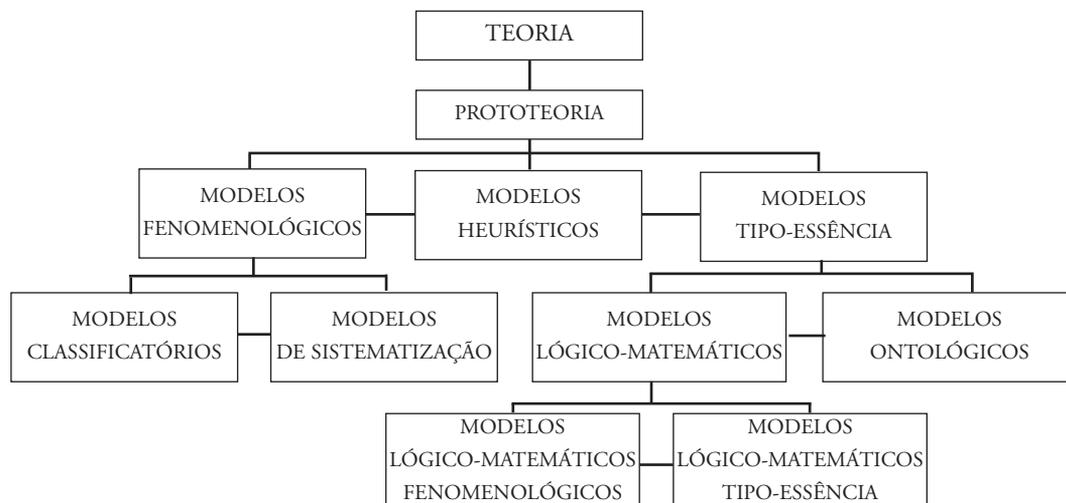
<sup>6</sup> O termo *prototeoria*, um neologismo, foi por nós cunhado (em 1996) em semelhança ao significado de *proto-história* (*protobistoire*): período cronológico intermediário entre a pré-história e a história.

<sup>7</sup> Baseamos nossa definição, com algumas modificações, em DA COSTA (1997, p. 107).

investigação de construção e estruturação de um dado conhecimento, qual é a essência e o próprio vir-a-ser do período de transição e consolidação de uma nova teoria. A compreensão desse processo se torna um recurso de análise metodológica, epistemológica, ontológica e historiográfica.

Podemos, assim, sistematizar nossas idéias em um quadro de hierarquia ascendente no qual expomos as relações discutidas:

QUADRO DE SISTEMATIZAÇÃO



Para exemplificar nosso estudo com uma análise e classificação de uma elaboração teórica, abordamos a chamada *Teoria de Fermi para o decaimento  $\beta$* . Essa formulação é um bom exemplar uma vez que a encontramos na literatura enunciada como “tentativa de teoria” (Fermi), ou ainda, “hipótese de interação universal” (Leite Lopes), o que para nós vem demonstrar que existe um diferencial, uma qualidade inovadora até então não estabelecida. Ela pode ser identificada como uma prototeoria, um estágio intermediário do desenvolvimento da compreensão do que se chamará de Teoria das Interações Fracas, no qual já encontramos elementos fundamentalmente novos, porém ainda sem uma estrutura teórica totalmente coerente e uma abrangência empírica de maior grau.

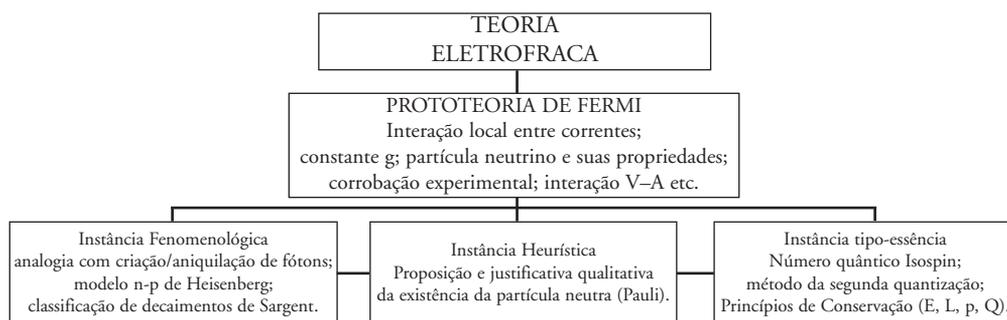
Assim, tal prototeoria tem na sua instância fenomenológica alguns parâmetros constantes que são determinados experimentalmente, usando modelos classificatórios do decaimento  $\beta$  já conhecidos, mas que não o explicam. Nessa instância, ela também utiliza a analogia da criação/aniquiação do par  $e^- - \nu$  com a criação/aniquiação do fóton na QED, e o modelo  $n-p$  de força nuclear de Heisenberg – que introduz a noção de núcleon.

Na sua instância tipo-essência, tem-se a participação, como modelo lógico-matemático, do número quântico isospin, da QED de Dirac e do método da segunda quantização, originando a proposição da interação local entre duas correntes: a nuclear e a de partículas leves. Tal modelo responde a uma ontologia sobre os princípios de conservação de energia, de momentos e de carga.

Por fim, essa prototeoria propõe como elementos conceituais novos a necessidade de uma nova partícula – o neutrino, cuja existência é inexplicável em outro contexto teórico, uma nova constante ( $g$ ) na natureza que mostra a existência de um novo tipo de interação na matéria – a interação fraca – e uma forma nova de correntes de interação, que relaciona outras partículas da matéria (nêutron, próton e anti-neutrino) além do elétron, como já conhecido na QED.

Como uma prototeoria, a elaboração de Fermi mostrou sua originalidade, força e eficácia e, também, mostrou suas deficiências e limitações que implicaram em reelaborações conseqüentes do próprio desenvolvimento teórico da Física. Concluindo, a prototeoria de Fermi contém inconsistências segundo a lógica clássica, uma vez que une tratamentos relativísticos (corrente leptônica) e não-relativísticos (corrente de núcleons). Em seu próprio arcabouço teórico encontramos problemas físicos uma vez que sua constante de acoplamento não é renormalizável. No entanto, apesar de suas limitações, ela responde bem aos resultados experimentais em baixa energia (por volta de 300 MeV).<sup>8</sup>

### Exemplar de Análise



Com a evolução constante da investigação na área das partículas, trabalhando com altas energias, foi natural a insatisfação e a busca de melhoramento dessa prototeoria. Concomitante a isso, o desenvolvimento contínuo e profícuo do formalismo na Física Quântica de Campos e Mecânica Quântica instrumentalizou os físicos para reelaborações menos problemáticas. Contudo, a despeito dos problemas e limites, a idéia emergente e fundamental das interações fracas entre correntes – uma idéia nova e frutificadora para a descrição do comportamento quântico da matéria – está nas concepções de Fermi. Assim, consideramos a prototeoria de Fermi revolucionária, não como produto subsequente do desenvolvimento normal dos trabalhos da física quântica vigente, mas como aquela capaz de criar uma nova área de pesquisa na Física, a Física de Altas Energias, atualmente conhecida como a Física de Partículas.

### Contribuição de uma Reconstrução Histórico-filosófica para a Pesquisa em Ensino de Física

Como dissemos anteriormente, objetivamos um trabalho no qual procuramos abordar a construção de teorias e explicações científicas e os elementos que as estruturam, articulam e dinamizam, enfocando a enunciação e construção de modelos, mas também apresentando uma proposta interpretativa com um elemento adicional (prototeoria) na explicação da obtenção das teorias. Com a estrutura histórico-filosófica obtida acreditamos que podemos contribuir na análise a respeito do conhecimento científico, bem como no processo cognitivo.

O ensino de Ciências por meio de modelos tem sido um tema de interesse crescente na pesquisa em Educação Científica. No entanto, o termo *modelo* tem sido usado com sentidos diversos na literatura tanto na área de História e Filosofia da Ciência como na área de Educação. Encontramos em Krapas *et al.* (1999) uma interessante sistematização de categorias relativas aos sentidos de modelos encontrados em periódicos internacionais, na qual os autores destacam

<sup>8</sup> Para detalhes dos desdobramentos históricos e conceituais dessa proposta de Fermi, ver BATISTA (1999 e 2001).

*(...) a polissemia do conceito de modelo e a existência de diversos tipos de modelos (mental, conceitual etc) para os diversos autores; o papel central da analogia na formação dos modelos; a importância pedagógica dos processos de modelagem... (KRAPAS, S. et al., 1999, p. 6).*

A importância da discussão sobre modelos para a dimensão cognitiva já é consensual para a comunidade científica envolvida na pesquisa dos processos de ensino e de aprendizagem.

*Fica então registrada a conseqüente necessidade de, além de mapear os sentidos mais usuais atribuídos ao termo [modelo], [...] explicitar as perspectivas teóricas a partir das quais se investigam modelos em ciências e na educação em ciências. (KRAPAS, S. et al., 1999, p. 10).*

Concordando com os autores, nosso trabalho se insere nessa perspectiva de fundamentação e sistematização teórica para a reflexão sobre a conceitualização a respeito de modelos e, sendo esse o enfoque primordial, sobre a construção de explicações científicas que alcancem o estatuto de teorias. O conhecimento dessas estruturas conceituais, explicitadas da forma como elaboramos, implementam e colaboram para a ocorrência da aprendizagem.

*Ou seja, para que o estudante aprenda um determinado modelo, não basta que seja apresentado a ele, senão que deveriam de ser-lhe apresentadas uma série de situações que lhes permitissem perceber os conceitos, relações e propriedades dos modelos físicos... (GRECA, I. L. & MOREIRA, M. A., 2002, p. 22).*

Com essa fundamentação, uma discussão com abordagem histórico-filosófica recria o ambiente contextualizador que permite entender a origem da problemática, do desafio conceitual e/ou empírico – como se apresentaram as questões, as hipóteses, os elementos conflitantes – e os desenvolvimentos subseqüentes, atingindo os conhecimentos procedimentais (os *comos*) além dos declarativos (o *quê*), para uma reestruturação fundamental, no sentido de ruptura com as bases conceituais e empíricas originais. Uma elaboração conceitual que implica em um abandono de um corpo teórico prévio, com a criação de uma idéia totalmente nova, apresenta a superação de uma estrutura epistemológico-cognitiva subjacente. Esse rompimento conceitual permite pensar o desconhecido com os novos instrumentos de análise e, assim, se no início do processo cognitivo recorreremos a analogias, haverá o momento de abandoná-las em favor de novas e mais especializadas estruturas de pensamento.<sup>9</sup>

Argumentamos que uma abordagem histórico-filosófica apresenta e contribui para a compreensão do porquê uma proposição é considerada comprovada, estabelecida como conhecimento, e como ela se relaciona com outras proposições na Física. Pensamos que o aluno/professor que é estimulado a pensar mediante uma *estrutura* epistemológico-cognitiva relacionada a um dado conteúdo estará mais apto a explicar quaisquer proposições, conceitualizações, de maneira *articulada*, integrada e a desenvolver, por meio de sua própria crítica, uma visão ampliada e consistente da atividade científica.

Defendemos, pois, que o desenvolvimento didático – formal e empírico – do conteúdo físico (e também de outras ciências) deve levar em consideração a história desse conteúdo e os problemas de interesse epistemológico (problemas geradores), pois o desenvolvimento de um trabalho que envolva tais aspectos pode propiciar uma compreensão maior do processo de criação de conhecimentos físicos, evidenciando o papel da epistemologia histórica da Física

<sup>9</sup> Definimos que o corte, a ruptura, ocorre entre teorias e não no conhecimento como um todo. O processo de modelagem continua existindo, mas a partir de uma reformulação dos modelos antigos que se tornam coerentes com a prototeoria em análise.

como agente atuante na inteligibilidade das teorias. Ou seja, pensamos que o processo de ensino e de aprendizagem na educação científica deve invocar o trabalho com uma abordagem pedagógica que envolva integradamente a História, a Filosofia e a Ciência.

Buscando uma síntese a partir dos referenciais teóricos apresentados, nossa discussão apresentou a investigação de um objeto de estudo por meio da reflexão e da análise filosófica, fundamentada nos perfis estrutural e articulador dos conhecimentos envolvidos na reconstrução histórica. A função da estrutura apresentada (instância de modelos → prototeoria → à teoria) para investigar a construção e consolidação de teorias é explicitar os fundamentos e os eixos condutores do conhecimento científico, bem como identificar a dinâmica da articulação desses eixos ao longo da história da ciência estudada.<sup>10</sup> Assim, propomos tal estrutura como um recurso didático para a organização e discussão dos conteúdos científicos, tornando-se parte da estrutura para o seu ensino.

No elenco de nossas preocupações também possuem lugar as argumentações a respeito da aplicação dos referenciais históricos e filosóficos no ensino das ciências, tendo na sua essência a pertinência e a necessidade desses referenciais como elementos de decisão dessa aplicação. Assim, sustentamos a nossa proposta, pois consideramos que aqui a abordagem histórico-filosófica funciona como um fio condutor dos raciocínios,<sup>11</sup> como um elemento na estrutura didática que favorece a cognoscibilidade dos conteúdos, que justifica racionalmente a coordenação didática desses, estabelecendo-se no próprio corpo integrado das estruturas de ensino e, como pretendemos, de aprendizagem.

Desse modo, em função de sua coerente adaptação didática, os instrumentais obtidos pela análise histórico-filosófica integram-se de maneira a quase ficarem indiferenciáveis; eles não estarão participando como exemplos históricos adicionais no ensino ou como elementos buscando uma integração ciência-tecnologia-sociedade, como podemos encontrar em farta literatura sobre a contribuição da história e filosofia no ensino de Ciências. Essa integração relacional e cognitiva é a principal característica que buscamos evidenciar, com a apresentação de recursos teórico-metodológicos para obtê-la no ensino, reconhecendo que um dos desafios postos é o pleno entendimento de que se trata de um processo interdisciplinar, no qual o objetivo norteador dessa elaboração didática é o ensino de ciências (ou de uma ciência) e é ele que dita as prioridades das escolhas. Desta forma, como é de nossa convicção, fortalece-se a compreensão do conhecimento científico e não se confunde o seu ensino com o ensino de História e Filosofia da Ciência.

---

<sup>10</sup> *Esses perfis são instrumentos que explicitam tanto os episódios de conflito e mudança como os períodos de frutificação e corroboração das novas elaborações teóricas, colaborando para o entendimento da atividade racional da ciência pertencente a um sistema de valores cognitivos.*

<sup>11</sup> *É importante salientar que esse fio não evoca qualquer linearidade nos raciocínios e sim como um auxílio para sair de uma situação problemática ou a dominar um raciocínio, um sistema de idéias, dentre outros, e é vindo de uma referência ao “fio de Ariadne” [A expressão é uma alusão ao episódio da mitologia clássica grega que envolve Ariadne, Teseu e o minotauro, em que aquela teria dado a Teseu um fio para que, ao vencer o minotauro no labirinto, o herói encontrasse o caminho da saída].*

## Referências

- BATISTA, I. de L. A teoria de Fermi para o decaimento  $\beta$ : da sua formulação inicial à sua universalização. In: PESSOA JÚNIOR, O. (Org.). **Fundamentos da física 2 – simpósio David Bohm**. São Paulo: Livraria da Física, 2001.
- \_\_\_\_\_. A universalização de teorias e o ensino da física do século XX. In: **Encontro de Pesquisa em Ensino**, 7, 2000, Florianópolis. Florianópolis, 2000.
- \_\_\_\_\_. **A teoria universal de Fermi: da sua formulação inicial à reformulação V-A**. 1999. 122 p. Tese (Doutorado)-Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- \_\_\_\_\_. **A concepção física de espaço e o ensino da mecânica**. 1993. 198 p. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Física, Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- CARVALHO, A. M. P. & VANNUCHI, A. I. History, philosophy and science teaching: some answers to “how?” **Science & Education**, Dordrecht, v. 9, p. 427-448, 2000.
- CHIAROTTINO, Z. R. A teoria de Jean Piaget e a educação. In: PENTEADO, W. M. A. **Psicologia e ensino**. São Paulo: Papelivros, 1980.
- DA COSTA, N. C. A. **O conhecimento científico**. São Paulo: Discurso Editorial, 1997.
- GALILI, I. & HAZAN, A. Experts’ views on using history and philosophy of science in the practice of physics instruction. **Science & Education**, Dordrecht, v. 10, p. 345-367, 2001.
- GRECA, I. M. & MOREIRA, M. A. Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora. **Investigações em Ensino de Ciências**, UFRGS: Instituto de Física, v. 7, n. 1, 2002.
- KIPNIS, N. Theories as models in teaching physics. **Science & Education**, Dordrecht, v. 7, p. 245-260, 1998.
- KRAPAS, S. *et al.* Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, UFRGS: Instituto de Física, v. 2, nº 3, 1999.
- KUZNETSOV, I. V. & OMELYANOVSKY, M. E. (Ed.). **Philosophical problems of elementary particle physics**. New York: Daniel Davey & Co., 1965.
- MIZUKAMI, M. G. N. **Ensino: as abordagens do processo**. São Paulo: EPU, 1986.
- MOREIRA, M. A. & MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a Teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.
- ROBILOTTA, M. R. O cinza, o branco e o preto: da relevância da história da ciência no ensino de física. **Caderno Catarinense de Ensino Física**, Florianópolis, v. 5, p. 7-22, 1988.

SEROGLOU, F. & KOUMARAS, P. The contribution of the history of physics in physics education: a review. *Science & Education*, Dordrecht, v. 10, p. 153-172, 2001.

---

*Agradecimentos*

É importante registrar nosso agradecimento a Michel Paty, Newton A. C. da Costa e Pablo R. Mariconda, pelas leituras e discussões que nos ajudaram a lapidar nossa proposta de referencial teórico-metodológico, e aos pareceristas deste artigo, pelos comentários e sugestões que nos auxiliaram no formato final deste texto.