

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

ALEXSANDRO PEREIRA DE PEREIRA

DISTRIBUIÇÃO CONCEITUAL NO ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA
Uma aproximação sociocultural às teorias de mudança conceitual

PORTO ALEGRE

2012

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

DISTRIBUIÇÃO CONCEITUAL NO ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA
Uma aproximação sociocultural às teorias de mudança conceitual*

ALEXSANDRO PEREIRA DE PEREIRA

Tese realizada sob a orientação da Profa. Dra. Fernanda Ostermann, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Física.

PORTO ALEGRE

2012

* Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

ALEXSANDRO PEREIRA DE PEREIRA

DISTRIBUIÇÃO CONCEITUAL NO ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA
Uma aproximação sociocultural às teorias de mudança conceitual

Tese realizada sob a orientação da Profa. Dra. Fernanda Ostermann, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Física.

Aprovado em 21 de dezembro de 2012.

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. EDUARDO FLEURY MORTIMER (UFMG)

PROF. DR. OLIVAL FREIRE JR. (UFBA)

PROFA. DRA. NEUSA TERESINHA MASSONI (UFRGS)

PROF. DR. IVES SOLANO ARAÚJO (UFRGS)

PROF. DR. EMERSON LUNA (UFRGS)

PROFA. DRA. (PRES.) FERNANDA OSTERMANN (UFRGS)

Ao meu grande amor, Sara.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Fernanda, por acreditar nesse projeto e contribuir de todas as formas possíveis para a sua realização. Essa vitória é nossa!

Aos professores César, Silvio e Cláudio, por abrirem a sala de aula e permitirem o desenvolvimento de nossas observações empíricas.

Ao professor Osvaldo, por sua importante colaboração com nosso grupo de pesquisa e por participar de vários momentos importantes desse trabalho.

Ao professor Olival, pela recepção calorosa durante minha missão na UFBA, nos marcos do PROCAD, e pelas riquíssimas conversas sobre os fundamentos da mecânica quântica.

Ao professor Charbel, por aceitar discutir minhas idéias, juntamente com a professora Cláudia, e por oportunizar uma importante interlocução com o professor Eduardo Mortimer.

Ao professor Eduardo, por aceitar o convite, feito por Charbel, de nos reunirmos no ENPEC, juntamente com a professora Cláudia e com minha orientadora, para discutir o meu trabalho.

À minha colega de Unipampa, professora Maristela, pelas colocações e sugestões referentes à parte final do manuscrito.

Aos meus colegas de doutorado, Paulo, Zorak, Mozart, Nathan, Leo e Brandão, pela convivência prazerosa ao longo dessa difícil jornada.

À minha família, especialmente ao meu pai e ao meu irmão, pela ajuda e apoio que sempre prestaram, mesmo à distância. Pai, essa vitória é mais tua do que minha!

À minha namorada, Sara, por compartilhar comigo todos os meus sonhos e me ajudar a construir um projeto de vida. Essa vitória também é nossa!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de doutorado concedida.

O fato central de nossa psicologia é o fato da mediação.

Lev Semenovitch Vygotsky

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Um encontro entre concepções científicas	9
2	MUDANÇA CONCEITUAL: BASES CONCEITUAIS E ABORDAGENS TEÓRICAS	22
2.1	Múltiplas perspectivas da mudança conceitual	22
2.2	Quatro distinções básicas para revisar a mudança conceitual	26
2.2.1	<i>As abordagens clássica e re-enquadrada</i>	27
2.2.2	<i>A controvérsia coerência versus fragmentação</i>	33
2.2.3	<i>As tendências frias e aquecidas</i>	40
2.2.4	<i>A divisão cognitivo-situativo</i>	45
2.3	Mudança conceitual: uma síntese	52
3	BASES TEÓRICAS PARA O ESTUDO DAS CONCEPÇÕES EM CIÊNCIAS	55
3.1	A proposta no âmbito da pesquisa sociocultural	55
3.2	O legado de L. S. Vygotsky	58
3.2.1	<i>O papel central da mediação no funcionamento mental humano</i>	60
3.2.2	<i>A formação social da mente</i>	64
3.2.3	<i>O desenvolvimento das funções mentais superiores</i>	67
3.3	A análise sociocultural de James V. Wertsch	70
3.3.1	<i>O papel da ação na análise sociocultural</i>	71
3.3.2	<i>Propriedades da ação mediada</i>	73
3.3.3	<i>Uma análise das ferramentas culturais</i>	77
3.3.4	<i>A relação agente-ferramenta cultural</i>	80
3.3.5	<i>Caixa de ferramentas e os padrões de privilegiação</i>	82
3.4	Conclusão	83
4	UMA VERSÃO DISTRIBUÍDA DA MUDANÇA CONCEITUAL	85
4.1	Preliminares metodológicos para o estudo da mudança conceitual	85
4.1.1	<i>Mudando a analogia na mudança conceitual</i>	85
4.1.2	<i>Memória coletiva</i>	91
4.1.3	<i>A mediação da memória coletiva</i>	96
4.2	Um modelo de distribuição conceitual para o ensino de ciências	101
4.2.1	<i>A natureza distribuída das concepções em ciências</i>	103
4.2.2	<i>Concepção científica versus conhecimento científico</i>	109
4.2.3	<i>Mudança conceitual como transformação da ação mediada</i>	113
4.2.4	<i>Explicações como ferramentas culturais para as concepções em ciências</i>	117
5	DISTRIBUIÇÃO SOCIAL CONTESTADA: O CASO DA FÍSICA QUÂNTICA	124
5.1	A história sociocultural da contestação em física quântica	124
5.1.1	<i>A emergência de uma interpretação oficial da mecânica quântica</i>	126
5.1.2	<i>O surgimento de outras vozes na interpretação da mecânica quântica</i>	129
5.1.3	<i>Disputas sobre a realidade física: a institucionalização da controvérsia</i>	133
5.2	A produção de explicações científicas nos cursos de graduação	135
5.2.1	<i>Referencialidade nos textos de física quântica: um exemplo comparativo</i>	140
5.2.2	<i>Dialogicidade nos textos de física quântica: uma oposição binária</i>	147
5.3	O consumo de explicações científicas na formação inicial de professores	149
5.3.1	<i>O domínio de explicações oficiais da física quântica</i>	151
5.3.2	<i>Contestação na sala de aula: um exemplo sobre o princípio de incerteza</i>	159
5.4	Implicações para a pesquisa em ensino de física quântica	161
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	164
	REFERÊNCIAS	168

RESUMO

O presente trabalho apresenta um modelo alternativo para analisar a dinâmica das concepções no ensino de ciências, baseado na noção de “distribuição conceitual”. O objetivo central desse estudo é reconsiderar o problema da mudança conceitual a partir de uma perspectiva sociocultural. De acordo com o nosso modelo de distribuição conceitual, as concepções em ciências, tanto as alternativas como as científicas, são vistas como sendo “distribuídas” entre agentes e os recursos textuais que eles empregam; especialmente recursos textuais na forma de explicação – escrita ou falada. A partir dessa perspectiva, as concepções são distribuídas: (1) socialmente, na interação em pequenos grupos; (2) instrumentalmente, no sentido de que envolvem tanto pessoas (agindo individual ou coletivamente) como instrumentos de conhecimento tais como mapas, simulações computacionais ou explicações. Esse modelo difere das teorias clássicas e re-enquadradas de mudança conceitual ao sugerir que diferentes grupos podem gerar diferentes representações da realidade física, mesmo na comunidade científica. A partir dessa perspectiva, as concepções em ciências são vistas como um processo ativo que frequentemente envolve disputa e contestação entre pessoas, mais do que como um corpo estruturado de conhecimento que elas possuem. As afirmações básicas desse modelo são ilustradas a partir de exemplos da física quântica. A física quântica é um caso exemplar de arena científica onde ocorrem disputas e contestação sobre a realidade física. Os debates sobre os fundamentos dessa teoria sofreram mudanças fundamentais durante a transição do período de “monocracia da escola de Copenhague” (Jammer, 1974, p. 250) para o período atual, em que comunidade de físicos reconhece e legitima a existência de uma controvérsia científica acerca da interpretação da mecânica quântica (Freire, 2003). Inicialmente, esboçamos uma síntese da história sociocultural de contestação na física quântica. A seguir, são discutidos alguns exemplos referentes à produção e ao consumo das explicações oficiais da física quântica no contexto da formação inicial de professores de Física. Implicações para a pesquisa em ensino de física quântica são delineadas ao final.

ABSTRACT

In this doctoral dissertation, a particular model to analyze the dynamic of conceptions in sciences teaching, based on the notion of “conceptual distribution”, is outlined. The general goal of this study is to reconsider the problem of conceptual change from a sociocultural perspective. According to our model of conceptual distribution, both naïve and scientific conceptions are viewed as being “distributed” between agents and the textual resources they employ, especially textual resources in the form of explanation – written or spoken. From this perspective, conceptions are distributed: (1) socially, in small group interaction; and (3) instrumentally in the sense that it involve both people (acting individually or collectively) and instruments of knowledge such as maps, computer simulations or explanations. This model differs from classical e reframed approaches to conceptual change in suggesting that different groups have quite different accounts of physical reality, even within science community. From this perspective, conceptions are viewed as an active process that often involves contention and contestation among people rather than a structured body of knowledge they possess. The basic claims of this model are illustrated with examples of quantum mechanics. This theory is an exemplary case of scientific arena in which dispute and contestation about physical reality take place. Discussions about the foundations of quantum mechanics have undergone fundamental changes during the transition from the period of “monocracy of the Copenhagen School” (Jammer, 1974, p. 250) to the present time, identified as the physics community recognizing and legitimating the existence of a scientific controversy about the interpretation of quantum mechanics (Freire, 2003). First, we present a synthesis of the sociocultural history of contestation in quantum mechanics. Then, discuss some examples concerning the production and the consumption of official explanations of quantum physics in the training of pre-service physics teachers. Implications for research on the teaching of quantum physics are outlined.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Um encontro entre concepções científicas

Em *Voices of Collective Remembering*, Wertsch (2002) descreveu um episódio no qual ele observou uma aula de história em uma escola em Moscou, conhecida por seus fortes estudantes e excelente instrução. Naquela ocasião, ele teve a oportunidade de envolver alguns alunos em uma discussão sobre a segunda guerra mundial e perguntou a eles sobre o papel que os Estados Unidos haviam desempenhado nesse conflito. Em resposta a essa pergunta, um garoto de dezesseis anos de idade, Sasha, afirmou que os Estados Unidos fizeram muito dinheiro vendendo armas para os países durante os primeiros anos da guerra, mas que não haviam contribuído como um aliado. Isso porque, juntamente com a Inglaterra, eles se recusaram a abrir uma segunda frente de batalha em 1942 e em 1943. Além disso, Sasha disse que somente após os Estados Unidos começarem a pensar que a União Soviética poderia vencer a guerra por si própria e dominar a Europa pós-guerra é que eles ficaram preocupados o suficiente para abrir uma segunda frente de batalha em 1944.

Na avaliação de Wertsch (2002), o mais surpreendente acerca desse depoimento foi o modo como Sasha falou desses eventos. Ele se apresentou de forma segura e confiante, mostrando pouca dúvida ou hesitação. Era quase como se ele fosse uma testemunha ocular do que aconteceu. Tendo em vista essa reação de Sasha, duas importantes questões surgem desse episódio. Em primeiro lugar, como ele, um garoto de dezesseis anos de idade, pode ter tanta certeza do que aconteceu? Afinal de contas, ele não era nem mesmo nascido até quatro décadas após a segunda guerra mundial ter terminado. Em segundo lugar, de onde ele tirou essas ideias sobre o passado? Sua versão da segunda guerra mundial difere significativamente daquela encontrada nos Estados Unidos, assim como em outros lugares do mundo. Aos olhos de um norte americano, pode parecer que Sasha estivesse tentando ser provocativo, mas o fato é que ele produziu essa narrativa em uma época de sentimentos relativamente positivos com relação aos Estados Unidos. Aparentemente, ele simplesmente tomou sua resposta como uma descrição direta do que aconteceu.

Para Wertsch (2002), uma óbvia resposta para a segunda pergunta formulada acima é que a Rússia tem sua própria versão da História e que os garotos da geração de Sasha têm aprendido sobre ela na escola, em casa, na mídia, e assim por diante. Tal aprendizagem invariavelmente toma a forma de “domínio” de textos narrativos sobre quem fez o quê para quem, por quais motivos e em que contexto, e há poucas razões para duvidar que foi assim que Sasha desenvolveu sua descrição do passado. Episódios como o de Sasha são exemplos

do que tem sido discutido nas ciências sociais e humanas sob o título de “memória coletiva”. De acordo com Wertsch (2008), a memória coletiva é uma representação do passado compartilhada por membros de um coletivo, tal como uma geração ou uma Nação-Estado. A partir do depoimento de Sasha, é possível inferir uma característica fundamental da memória coletiva, em geral, e do ensino de História, em particular: os indivíduos de uma dada época não têm acesso direto aos eventos do passado em si, mas apenas a uma narrativa desses eventos. Assim, ao invés de se basear na experiência direta e imediata dos eventos, o tipo de memória coletiva em questão baseia-se em “recursos textuais” (Wertsch, 2002) fornecidos por outros – i.e., narrativas que fazem a aproximação entre os eventos propriamente ditos e o nosso entendimento desses eventos.

Em um importante sentido, o mesmo tipo de processo ocorre no ensino de ciências. De um modo geral, nenhum estudante de ciências – assim como nenhum de nós – tem acesso direto às “entidades inobserváveis” (Hacking, 1983) que as teorias científicas postulam (átomos, genes, fótons, elétrons, etc.), mas apenas a certas *explicações* dessas entidades, ou seja, histórias sobre “o que elas podem fazer, o que você pode fazer para elas e do que elas são feitas” (Ogborn, Kress, Martins, & McGillicuddy, 2006). Isso significa que, ao invés de estarem fundamentadas em nossa experiência direta com a realidade física, o tipo de concepções científicas ensinado na escola também baseia-se em recursos textuais (nesse caso, explicações). Esses recursos, orais ou escritos, fazem a ponte entre os fenômenos propriamente ditos e o nosso entendimento desses fenômenos.

Essa linha de raciocínio pode ser estendida ao universo das concepções alternativas. Essa aproximação se baseia em uma analogia entre memória coletiva e concepções em ciências e implica uma origem cultural dessas concepções. Essa proposta contrasta com o pressuposto amplamente aceito – às vezes acriticamente – de que as concepções alternativas têm suas origens na interação do indivíduo com o mundo físico, conforme a tradição piagetiana do desenvolvimento cognitivo. No entanto, diversos autores têm apontado uma origem cultural das concepções alternativas. Mortimer (2002), por exemplo, notou que as diversas definições de “calor”, no dicionário, coincidem com as várias concepções alternativas desse conceito, encontradas na literatura. Solomon (1983), por sua vez, defendeu que as concepções alternativas estão profundamente arraigadas na sociedade.

Em conversa diária e através dos meios de comunicação, nossas crianças são confrontadas com suposições implícitas sobre como as coisas se movem, sua energia e suas outras propriedades, que podem estar diretamente em desacordo com as explicações científicas que eles aprendem na escola. Fora do laboratório escolar, esses adolescentes estão continuamente sendo *socializados* dentro de um repertório

completo de explicações não-científicas. O exame de reportagens de jornal e da linguagem cotidiana torna clara a difusão desse processo subversivo (Solomon, 1983, p. 49, nossa tradução, *itálico no original*).

Essa abordagem às concepções em ciências certamente requer uma redefinição do que seja uma *concepção alternativa*. Com base na analogia proposta, podemos dizer inicialmente que as concepções em ciências são representações da realidade física compartilhadas por membros de um grupo social (voltaremos a essa questão com mais detalhes no capítulo 4). O fenômeno das concepções alternativas foi independentemente descoberto por cientistas cognitivos e educadores em ciências. A partir da década de 70, diversos estudos passaram a investigar as ideias de estudantes acerca de conceitos e princípios científicos. Nesse contexto, vários nomes surgiram na literatura para designar tais ideias, sendo concepções alternativas o termo mais difundido no Brasil¹. Na ciência cognitiva, o estudo das concepções alternativas esteve relacionado com outro programa de pesquisa, que investigava as mudanças que ocorrem quando um novato em certo domínio, tal como no jogo de xadrez ou em ciências físicas (especialmente a mecânica), adquire *expertise* (para uma revisão da literatura, ver Chi, Glaser, & Rees, 1982). Já na educação em ciências, o levantamento de concepções alternativas de professores e estudantes se transformou em um “movimento” (Gilbert & Watts, 1983), tornando-se um dos primeiros grandes focos de pesquisa nessa área (Tiberghien, 2008).

Conforme apontou diSessa (2006), antes da descoberta das concepções alternativas, as dificuldades dos estudantes em aprender ciências eram associados à complexidade e à natureza abstrata dos conceitos científicos. A aprendizagem era vista a partir de um simples modelo de “aquisição” e as intervenções didáticas envolviam a repetição ou a simplificação da instrução dada. Em contrapartida, ouvir atentamente o que os estudantes têm a dizer levou a uma descoberta perturbadora: eles não sofrem de uma falta de conhecimento acerca dos fenômenos científicos. Pelo contrário, eles têm suas próprias ideias, mas elas diferem radicalmente das concepções dos cientistas.

O fenômeno das concepções alternativas é frequentemente ilustrado a partir de um problema conceitual, discutido por Clement (1982). A figura 1 mostra uma moeda sendo lançada verticalmente para cima. Ao abandonar a mão do arremessador, a moeda reduz sua velocidade até atingir o repouso no topo da trajetória. A partir desse instante, a moeda passa a cair livremente, aumentando sua velocidade até ser pega novamente pelo arremessador (nesse

¹ Dentre as terminologias mais utilizadas, no inglês, encontram-se “*misconceptions*”, “*alternative conceptions*” e “*alternative frameworks*”, cada qual refletindo uma perspectiva epistemológica particular (Abimbola, 1988).

problema, os efeitos de resistência do ar são desprezados). A tarefa, proposta por Clement, consiste em representar, por meio de setas, as forças que atuam na moeda nos instantes em que ela está: (a) subindo; (b) no topo da trajetória; (c) descendo.

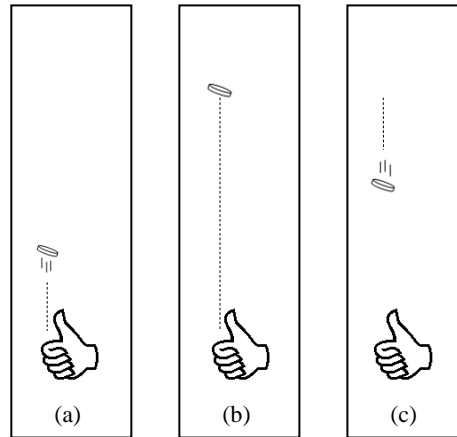


Figura 1. Uma moeda é lançada verticalmente para cima: (a) subindo; (b) no topo da trajetória; (c) descendo.

De acordo com a explicação científica (mecânica newtoniana), a única força que atua na moeda, durante seu movimento, é a força peso. Essa força modifica a velocidade da moeda, fazendo-a diminuir uniformemente até “zerar” no ponto mais alto da trajetória. A partir desse instante, o sentido do deslocamento se inverte e a moeda passa a aumentar uniformemente sua velocidade, até atingir novamente a mão do arremessador. A figura 2 representa a explicação científica “oficial”, conforme a explicação acima.

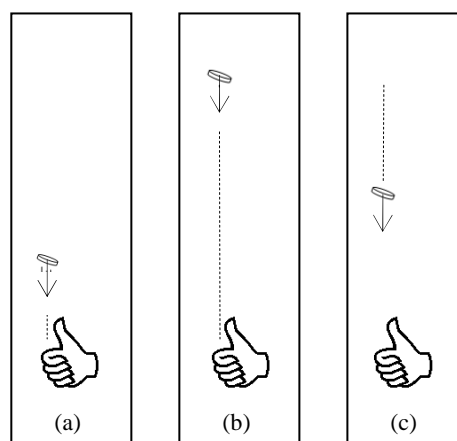


Figura 2. Representação da explicação newtoniana: a força peso é a única força exercida sobre a moeda.

Já uma das explicações intuitivas, fornecida pelos estudantes, é mais ou menos a seguinte. Inicialmente, uma força impulsora é transferida para a moeda (a força do arremesso). Essa força é maior do que a força peso – do contrário, a moeda não se moveria

para cima – e acompanha a moeda durante todo o seu movimento de subida. Após o arremesso, no entanto, essa força reduz gradualmente sua intensidade até se igualar a força peso no topo da trajetória (situação de equilíbrio). A partir desse instante, a força peso passa a dominar o movimento, puxando a moeda de volta para baixo. A figura 3 representa a explicação intuitiva, fornecida pelos estudantes.

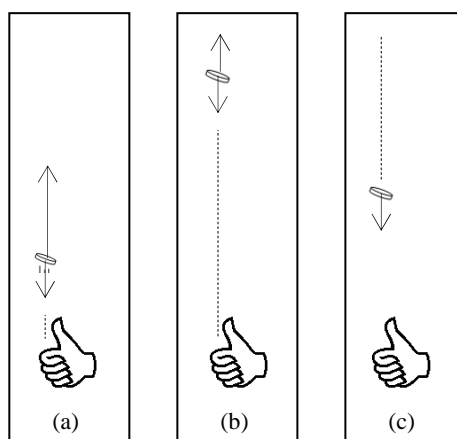


Figura 3. Representação da explicação intuitiva: presença de duas forças nos instantes (a) e (b).

Conforme o exemplo acima sugere, os estudantes parecem já ter uma concepção bem formulada do conceito de força, mas essa concepção entra em conflito com a concepção dos cientistas. Mais especificamente, a crença de que “não há movimento sem força” contradiz a concepção newtoniana, na qual “não há aceleração sem força” (diSessa & Sherin, 1998). Nos anos 80, o diagnóstico de concepções desse tipo deu origem a uma “indústria altamente produtiva” (Carey, 1986) que resultou no aumento expressivo do nosso conhecimento empírico acerca das concepções iniciais dos estudantes (Mortimer, 1996). Cerca de dez anos mais tarde, no entanto, o programa das concepções alternativas começou a dar sinais de esgotamento² e muitos pesquisadores em educação em ciências passaram a questionar estudos meramente descritivos dessas concepções (para uma crítica, ver Duschl, 1994). Contudo, o programa das concepções alternativas ajudou a isolar uma importante “fonte dos erros” (Clement, 1982) dos estudantes ao mostrar “que essas concepções influenciam a aprendizagem futura e que elas podem ser resistentes à mudança” (Driver, 1989, p. 481, nossa tradução). Desde então, muitos esforços têm sido direcionados ao desenvolvimento de estratégias para mudar as concepções iniciais dos estudantes, de modo a levá-los a uma

² Conforme argumentou Mortimer (2002), as concepções relacionadas aos conceitos mais centrais no ensino de ciências já foram exaustivamente pesquisadas e não parece muito produtivo continuar investigando concepções acerca de conceitos mais periféricos da ciência, tais como terremotos ou o efeito estufa.

correta compreensão de conceitos científicos. Entramos, assim, na “era da mudança conceitual” (diSessa, 2006).

Uma importante característica da mudança conceitual é que ela incorpora um tipo de “racionalismo iluminista”, adotado por importantes teóricos do desenvolvimento, tais como Vygotsky e Piaget (Wertsch, 1996). Do ponto de vista do pensamento racionalista, a racionalidade universal e abstrata consiste no estágio final do desenvolvimento humano. O compromisso da mudança conceitual com o racionalismo se reflete na distinção amplamente aceita entre “concepções espontâneas” (i.e., alternativas) e “concepções científicas”. Nesse paradigma, as primeiras são vistas como formas primitivas de pensamento, baseadas na experiência concreta e imediata, enquanto que as últimas representam o pensamento lógico-abstrato. Alternativamente, as concepções espontâneas são, com frequência, associadas com formas de pensamento medieval (e.g. McCloskey, 1983), enquanto que as concepções científicas representam a racionalidade moderna. Essa abordagem segue uma linha similar ao que Shweder (1991) chamou de “evolucionismo”, visão na qual diferentes crenças e entendimentos são tomados como passos em direção a uma escada ideacional, movendo-se progressivamente em direção a um ponto final normativo (Wertsch, 1996). Ao adotar essa visão evolucionista, as concepções científicas são vistas naturalmente como sendo superiores ou mais desenvolvidas do que as concepções espontâneas. Sob tal pressuposto, restam poucas alternativas senão convencer os estudantes a abandonar suas concepções prévias e aceitar as ideias da ciência, ou seja, convencê-los a “substituir um conjunto de conceitos centrais por outro” (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982). Essa alegada superioridade do pensamento científico é hoje um tema em discussão e tem sido problematizada por importantes pesquisadores da área de educação em ciências (e.g. Cobern, 1996).

Na psicologia do desenvolvimento, a abordagem evolucionista à mudança conceitual vai ainda mais longe ao assumir que as concepções científicas, no indivíduo, resultam da transformação ou “reestruturação radical” (Carey, 1985b) das concepções espontâneas. Essa visão assume uma espécie de força homogeneizante no desenvolvimento, que faz com que todas as concepções alternativas da criança tomem a forma de conceitos científicos na fase adulta. Essa posição levanta a questão de se é razoável assumir esse tipo de homogeneidade do pensamento racional *entre* contextos, i.e., se indivíduos que demonstraram capacidade de usar conceitos científicos em (pelo menos) um contexto necessariamente evocam conceitos científicos em *todos* os contextos. Essa questão é tema de recentes debates na literatura e tem sido abordada sob o título de “problema da transferência” (e.g. Vosniadou, 2007a).

Diversos autores têm desafiado a homogeneidade do pensamento racional ao afirmar que os seres humanos são capazes de operar em “dois diferentes domínios de conhecimento” (Solomon, 1983). Essa posição é consistente com a noção de “heterogeneidade”, delineada por Tulviste (1991), que afirma que uma característica fundamental da atividade humana é a existência de uma variedade de formas qualitativamente diferentes de representar a realidade. Em particular, as pesquisas em mudança conceitual, de um modo geral, têm reconhecido um tipo de pluralismo cognitivo similar ao que Wertsch (1991) tem chamado de “heterogeneidade com hierarquia genética”. De acordo com essa perspectiva, certas formas de pensamento surgem em um estágio posterior do desenvolvimento e, em função disso, são inerentemente mais poderosas ou eficazes. No contexto da mudança conceitual, no entanto, alguns estudos têm mostrado que mesmo quando os estudantes demonstram certo domínio sobre conceitos científicos, eles às vezes falham em usá-los e voltam a utilizar suas concepções iniciais em tarefas não-familiares (Galili & Bar, 1992). Isso significa que as concepções espontâneas dos estudantes não desaparecem sem deixar vestígios durante o processo de instrução, mas são preservadas e o retorno a essas concepções é normalmente interpretado como uma regressão.

No início da década de 90, Linder (1993) apresentou um desafio à mudança conceitual ao mostrar que a “dispersão conceitual” (i.e., heterogeneidade) é um fenômeno que ocorre tanto na ciência quanto na vida cotidiana. A partir de exemplos referentes aos conceitos de tempo, átomo, carga elétrica, massa, luz e corrente elétrica, o autor argumentou que muito do que é ensinado nos cursos superiores de Física é completamente inconsistente com as teorias contemporâneas da ciência. Contudo, o uso de conceitos de física clássica por parte dos membros da comunidade científica não é visto como uma forma de regressão, mas sim como uma “apreciação” ou “adequação conceitual baseada em um contexto” (Linder, 1993). Essa posição é compatível com a noção de “heterogeneidade apesar da hierarquia genética” discutida por Wertsch (1991), segundo a qual algumas formas de pensamento surgem depois de outras ao longo do desenvolvimento, mais isso não significa que elas sejam inerentemente mais poderosas ou eficazes (pelo menos não em *todos* os contextos). Essa mesma posição pode ser encontrada na teoria dos “perfis conceituais”, desenvolvido por Mortimer (1995). De acordo com essa teoria, o ser humano é capaz de usar diferentes “formas de pensar” em diferentes domínios, de modo que um novo conceito não substitui necessariamente uma concepção prévia. Nessa perspectiva, aprender significa modificar um perfil conceitual e tornar-se ciente das diferentes zonas que constitui esse perfil, o que inclui tanto ideias científicas como ideias do senso comum.

A teoria dos perfis conceituais admite, portanto, a coexistência de várias concepções na ecologia conceitual de um único indivíduo, mesmo nos casos em que algumas dessas concepções são incompatíveis entre si. Ainda assim, mesmo as concepções conflitantes podem ser vistas como sendo complementares umas às outras, no sentido de que cada uma delas é usada pelo indivíduo em um dado contexto específico. Nesse sentido, um estudante de ciências não precisa suprimir suas ideias de senso comum, do mesmo modo que um químico com sólida formação quântica não precisa abandonar completamente sua visão daltoniana de átomo (Mortimer, 1996). Isso porque as visões clássicas e quânticas desse conceito têm cada qual seu próprio domínio de validade e esse argumento pode ser usado para defender o “valor pragmático da linguagem cotidiana” (El-Hani & Mortimer, 2010). Isso significa que o estudante pode manter suas concepções espontâneas juntamente com as concepções científicas que ele aprendeu na escola, desde que ele saiba usar cada uma dessas concepções em seu respectivo domínio de aplicação (contexto cotidiano e contexto escolar, por exemplo). Essa abordagem, no entanto, levanta a seguinte questão: o que acontece quando duas ou mais concepções alternativas competem pelo *mesmo* domínio de aplicação? Mais especificamente, o que fazer quando indivíduos de origens culturais distintas não compartilham da mesma visão em um domínio em particular? (Considere, por exemplo, as divergências religiosas entre os povos do Oriente Médio e suas consequências brutais). Essa é uma questão que o programa dos perfis conceituais nunca buscou enfrentar.

Examinar situações de conflito entre concepções que são alternativas entre si implica deslocar o foco da heterogeneidade do pensamento individual para questões de diversidade cultural e processos sociais decorrentes dessa diversidade. Muitos esforços na pesquisa em educação em ciências estão buscando reconhecer as diversas esferas da atividade humana (família, trabalho, escola, igreja, etc.) como sendo subculturas de um grupo social mais amplo (e.g. Aikenhead, 1996). No entanto, pouca atenção tem sido dada aos processos de disputa e contestação decorrentes das diferentes visões de mundo que frequentemente ocorrem em cada uma dessas esferas. Para ilustrar o tipo de processo que temos em mente, considere o seguinte exemplo ocorrido recentemente em um encontro nacional de ensino de ciências. Esse episódio guarda fortes semelhanças com o episódio de Sasha, descrito por Wertsch (2002), apresentado na abertura desse capítulo de introdução.

No primeiro semestre de 2009, Laura (nome fictício)³, uma estudante de pós-graduação em educação em ciências, ministrou um minicurso de Física, voltado para

³ O verdadeiro nome da pessoa foi omitido para preservar a sua identidade.

professores de ciências em formação inicial e continuada. Nessa ocasião, ela envolveu a plateia em uma discussão sobre o experimento de dupla fenda para elétrons e perguntou como era possível gerar um padrão de interferência no segundo anteparo (ver figura 4), mesmo quando a fonte emite um único elétron de cada vez (i.e., cada elétron só é emitido após o registro da contagem do elétron anterior). Em resposta a essa pergunta, um ouvinte da plateia se pronunciou, dizendo que “segundo Dirac, cada elétron interfere consigo mesmo”. Essa resposta está fundamentada na seguinte explicação, formulada para fótons, extraída da obra *The Principle of Quantum Mechanics*:

... antes da descoberta da mecânica quântica, algumas pessoas perceberam que a conexão entre ondas de luz e fótons deve ser de caráter estatístico. O que elas não perceberam claramente, no entanto, era que a função de onda fornece informação sobre a probabilidade de *um* fóton estar em um determinado local e não o número provável de fótons nesse local. A importância dessa distinção pode esclarecer-se da seguinte forma. Suponha que temos um feixe de luz, consistindo de um número grande de fótons, dividido em duas componentes de iguais intensidades. A partir da suposição de que a intensidade do feixe está conectada com o número provável de fótons no feixe, devemos ter metade do número total de fótons em cada componente. Se as duas componentes agora são postas a interferir, isso requer um fóton em uma componente sendo capaz de interferir com um fóton na outra componente. Às vezes, esses dois fótons teriam que aniquilar um ao outro e, outras vezes, eles teriam que produzir quatro fótons. Isso contradiz a conservação da energia. A nova teoria, que conecta a função de onda com probabilidades para um fóton, supera essa dificuldade ao fazer cada fóton viajar parcialmente em cada uma das duas componentes. Cada fóton então interfere apenas consigo mesmo. Interferência entre dois fótons diferentes nunca ocorre⁴ (Dirac, 1930, p. 9, nossa tradução, itálico no original).

Voltando ao episódio em questão, ao ouvir os comentários da plateia, Laura reagiu com certo tom de indignação ao responder que “não! Não é o elétron que interfere consigo mesmo. É o *estado* do elétron que interfere!”. Essa resposta obviamente atribui um *status* de realidade ao conceito de *estado quântico*, embora não esclareça o que ocorre com o elétron quando ele passa pelas fendas. Aparentemente, essa é uma questão que não devemos ousar perguntar. No que se refere à atuação de Laura, no entanto, sua reação é tão surpreendente quanto à de Sasha. Ela respondeu prontamente, mostrando pouca dúvida ou hesitação. Era quase como se ela pudesse “ver” os elétrons (ou o estado) com os seus próprios olhos. A ideia de que uma interpretação alternativa do fenômeno pudesse existir parece nem ter passado por sua cabeça. Esse episódio pode suscitar o mesmo tipo de questão envolvida no caso do estudante russo: (1) como Laura, uma pós-graduanda em educação em ciências, pode ter tanta certeza de sua resposta? Além disso; (2) de onde ela tirou essas ideias sobre interferência quântica? Até onde podemos averiguar, sua concepção do fenômeno em questão difere

⁴ Conforme Pessoa (2003) tem apontado, essa última afirmação nem sempre é verdadeira.

substancialmente da concepção de Dirac, na qual “cada fóton [viaja] parcialmente em cada uma das componentes”.

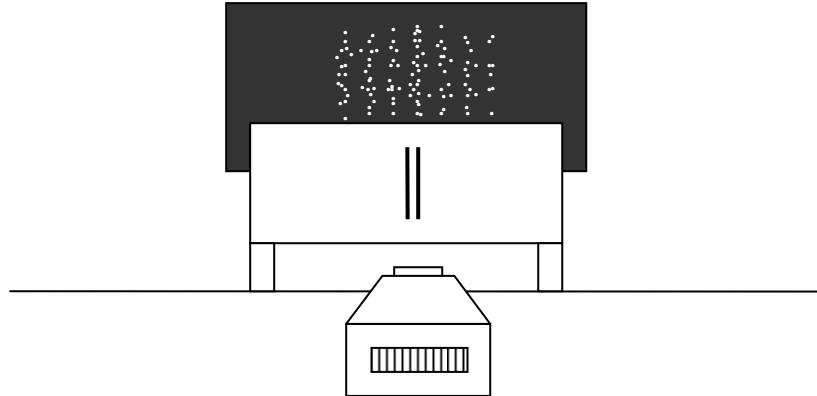


Figura 4. Representação esquemática do experimento de dupla-fendas para elétrons: regime mono-eletrônico.

Uma óbvia conclusão desse episódio é que Laura e o ouvinte da plateia tiveram sua formação inicial em tradições interpretativas distintas. Em ambos os casos, eles aprenderam sobre o fenômeno de interferência quântica na Universidade, com seus colegas e professores, lendo livros e artigos científicos que são compartilhados pelos membros de sua comunidade acadêmica. Nesse contexto, aprender ciências envolve o domínio de explicações científicas fornecidas por outros – i.e., “recursos textuais” (Wertsch, 2002) que são compartilhados pelos membros do grupo social do qual os indivíduos fazem parte. Em suma, Laura e seu ouvinte estavam baseados em recursos textuais distintos.

Ao abordar as concepções em ciências a partir da perspectiva da mediação textual, é possível concluir que: (1) apesar de qualquer impressão que ela possa ter tido do contrário, Laura não estava simplesmente descrevendo a natureza tal como ela *realmente é*. Para isso, seria necessário pressupor uma interpretação única, verdadeira e universalmente aceita do fenômeno, o que implicaria uma compatibilidade completa entre a descrição de Laura e a de outros indivíduos, incluindo seu ouvinte; (2) as explicações de Laura sobre o fenômeno de interferência quântica não são o resultado de uma pesquisa independente. Em princípio, ela poderia ter consultado fontes primárias (como artigos científicos publicados na primeira década do século XX) e, a partir dessas leituras, ter chegado a sua própria formulação do fenômeno. No entanto, alguns minutos de conversa com Laura são mais do que suficiente para perceber que esse realmente não é o caso. O que Laura estava fazendo, de fato, é o que a maioria das pessoas faz quando falam de fenômenos naturais: ela estava simplesmente usando

um item de um “repertório completo de explicações” (Solomon, 1983), disponível em seu contexto sociocultural.

A abordagem às concepções em ciências proposta neste trabalho está fundamentada na análise sociocultural formulada pelo norte-americano James V. Wertsch (1991, 1998b, 2002). A análise sociocultural de Wertsch tem suas raízes intelectuais na tradição russa, representada principalmente pelos autores Lev S. Vygotsky (1978, 1981a, 1981b, 1987; Wertsch, 1985) e Mikhail M. Bakhtin (1981, 1984, 1986, Wertsch, 1991). O ponto de partida da análise sociocultural é que ela adota “a ação mediada” como sua unidade de análise. A partir dessa perspectiva, os seres humanos são basicamente animais utilizadores de ferramentas, onde a palavra “ferramenta” é usada em um sentido mais amplo para incluir a linguagem e outros sistemas de signos (Wertsch, 2001). O uso concreto dessas ferramentas culturais envolve uma “tensão irreduzível” (Wertsch, 1998b) entre agentes ativos e itens como computadores, mapas e a linguagem. Tendo-se em vista que essas ferramentas são fornecidas por um cenário sociocultural particular, a ação humana é inerentemente situada em um contexto cultural e social.

Assim, a tese central a ser defendida no presente trabalho consiste na afirmação de que as concepções em ciências (científicas ou alternativas) são mais bem entendidas como uma forma de ação mediada. A partir dessa perspectiva, as concepções em ciências são vistas como sendo distribuídas entre agentes e itens como gráficos, globos, mapas, simulações computacionais e explicações. De acordo com esse modelo, nossos modos de pensar, falar e escrever sobre os fenômenos naturais são fundamentalmente “moldados” pelos recursos textuais que utilizamos. A noção de “texto” implicada no conceito de recurso textual deriva dos escritos de Bakhtin (1986b), que o define como sendo uma unidade organizadora básica que estrutura significado, comunicação e pensamento. É importante frisar que, ao considerar as explicações como recursos textuais para as concepções em ciência, não estamos afirmando que os indivíduos simplesmente repetem as explicações científicas de modo irracional. No caso de Laura, por exemplo, estamos mais do que convencidos de que ela é perfeitamente capaz de justificar sua resposta, reformulando-a e adicionando novas informações ao seu enunciado. Isso mostra como as explicações podem formar um tipo muito mais flexível de ferramenta cultural. Ao invés de instrumentos rígidos, que são ou utilizados em sua totalidade ou não são utilizados de maneira alguma, as explicações podem ser usadas de forma criativa e em combinação com outras para gerar novas formas de mediação.

Uma característica fundamental do processo de “mediação textual” (Wertsch, 2002) é que os recursos textuais envolvidos nem sempre são tomados como objetos de reflexão

consciente. No caso da reação de Laura, por exemplo, parecia que ela estava descrevendo a realidade em si e não fornecendo uma *explicação* dessa realidade. Em nenhum momento ela se sentiu tentada a qualificar o que ela dizia com expressões do tipo “de acordo com meus orientadores...” ou “segundo o livro no qual estou me baseando...”. Essa falta de consciência da natureza mediada das concepções em ciências é um exemplo daquilo que Wertsch (2002) chamou de “transparência da linguagem” (voltaremos a essa questão no capítulo 3). Parafraseando esse autor, é como se Laura estivesse olhando através dos textos explicativos que ela estava usando e não pudesse ver ou apreciar o modo como eles moldavam o que ela dizia.

Assim, faz-se necessário tornar visível a mediação textual e compreender o papel que os recursos textuais desempenham no processo de mudança conceitual. Isso implica analisar o modo como as explicações científicas são produzidas pela comunidade científica, pela mídia e assim por diante, assim como o modo como elas são usadas, ou consumidas, por professores e estudantes no ensino de ciências. Tendo-se em vista que essas explicações têm sempre um histórico de uso por parte de outros falantes, elas sempre trazem consigo suas perspectivas gerais ou visões de mundo, que Bakhtin (1981) definiu como “voz”. Assim, as concepções em ciências são inerentemente vinculadas a “múltiplas vozes” e o desafio consiste em ouvir as vozes por detrás dessas explicações, assim como as vozes de determinados agentes utilizando essas explicações em determinados contextos.

O presente trabalho apresenta um modelo alternativo para analisar a dinâmica das concepções no ensino de ciência, baseado na noção de “distribuição conceitual”. Trata-se de um modelo sociocultural de mudança conceitual baseado no uso de recursos textuais – especialmente explicações. Esse modelo difere das teorias clássicas e re-enquadradas de mudança conceitual ao sugerir que diferentes grupos podem gerar diferentes representações da realidade física, mesmo na comunidade científica. A partir dessa perspectiva, as concepções em ciências são vistas como um processo ativo que frequentemente envolve disputa e contestação entre pessoas, mais do que como um corpo estruturado de conhecimento que elas possuem. Este trabalho está estruturado em torno de três desafios centrais. Inicialmente, são revisados os vários significados do termo “mudança conceitual”, conforme ele tem sido usado na literatura. Tendo-se em vista que esse termo tem quase tantas interpretações quanto interpretadores, uma atenção especial é dedicada a ele no capítulo 2. A seguir, a partir da revisão da literatura, formulamos uma versão “distribuída” da mudança conceitual que enfatiza sobre como recursos textuais, especialmente explicações, configuram esse processo. Essa abordagem nos leva naturalmente às propriedades específicas das

explicações que moldam esse processo, assim como à questão de como essas explicações são produzidas e consumidas.

Finalmente, as afirmações básicas de nosso modelo são ilustradas a partir de exemplos da física quântica. A física quântica é um caso exemplar de arena científica onde ocorrem disputas e contestação sobre a realidade física. Os debates sobre os fundamentos dessa teoria sofreram mudanças fundamentais durante a transição do período de “monocracia da escola de Copenhague” (Jammer, 1974, p. 250) para o período atual de “institucionalização da controvérsia”, em que comunidade de físicos reconhece e legitima a existência de uma controvérsia científica acerca da interpretação da mecânica quântica (Freire, 2003). Inicialmente, esboçamos uma síntese da história sociocultural de contestação na física quântica a partir de fontes secundárias da história da ciência. A seguir, são discutidos alguns exemplos referentes à produção e ao consumo das explicações oficiais da física quântica no contexto da formação inicial de professores de Física. Implicações para a pesquisa em ensino de física quântica são delineadas ao final.

2 MUDANÇA CONCEITUAL: BASES CONCEITUAIS E ABORDAGENS TEÓRICAS

Neste capítulo, são revisados os significados de diversos termos-chave que aparecem nas discussões contemporâneas sobre mudança conceitual. Ao descrever como outros autores têm abordado o problema da mudança conceitual, é possível identificar caminhos pelos quais esse tema pode ser reinterpretado e articulado a uma estrutura conceitual mais abrangente. Para delinear o panorama conceitual no qual essas discussões têm sido emolduradas, são apresentadas quatro distinções básicas na pesquisa em mudança conceitual: (1) as abordagens “clássica” e “re-enquadrada”; (2) a controvérsia “coerência” *versus* “fragmentação”; (3) as tendências “frias” e “aquecidas”; e (4) a divisão “cognitivo-situativo”.

A partir dessas distinções, a mudança conceitual não é mais vista como uma substituição de teorias, mas como um processo dependente de contexto, no qual os indivíduos adquirem uma consciência meta-conceitual para coordenar diferentes pontos de vista. O conhecimento intuitivo (e.g. a física ingênua) tem sido descrito não apenas como “estruturas do tipo teoria”, mas também como “conhecimento em pedaços”. Além disso, a mudança conceitual não é somente concebida como um processo puramente racional, mas também como uma mudança intencional, que envolve aspectos contextuais, motivacionais e afetivos. Finalmente, além de envolver a mente individual, a mudança conceitual também sugere algo mais na forma de indivíduos socialmente situados; uma afirmação que pode ser formulada em termos de como indivíduos compartilham ferramentas culturais e participam de comunidades de discurso e prática.

2.1 Múltiplas perspectivas da mudança conceitual

A mudança conceitual é um tema difícil de revisar. Ela tem sido foco de debates em filosofia da ciência desde a publicação do clássico *The Structure of Scientific Revolutions* de Thomas Kuhn (1962), obra em que o autor expõe suas ideias sobre as mudanças de paradigma na ciência e o problema da incomensurabilidade (para uma revisão, ver Arabatzis & Kindi, 2008). No âmbito do conhecimento no indivíduo, os estudos sobre a mudança conceitual têm suas origens em duas tradições de pesquisa relativamente independentes: a educação em ciências e a psicologia do desenvolvimento (Vosniadou, 1999). Na educação em ciências, as pesquisas em mudança conceitual estão associadas ao influente artigo de Posner et al. (1982). Na psicologia do desenvolvimento, essa abordagem está relacionada aos estudos de Carey (1985b) sobre o desenvolvimento conceitual na infância.

Ao longo das últimas duas décadas, a pesquisa em mudança conceitual tem se tornado um movimento internacional em ascensão, apoiado por associações (EARLI e AERA)⁵, congressos (*8th International Conference on Conceptual Change* 2012 em Trier, Alemanha), livros (Guzzetti & Hynd, 1998; Limón & Mason, 2002; Schnotz, Vosniadou, & Carretero, 1999; Sinatra & Pintrich, 2003; Vosniadou, 2008b; Vosniadou, Baltas, & Vamvakoussi, 2007), artigos de revisão da literatura (Aguilar, 2001; Arruda & Villani, 1994; Driver, 1989; Duit & Treagust, 2003, Özdemir & Clark, 2007; Treagust & Duit, 2008a, 2009) e números especiais de periódicos científicos (*Learning and Instruction*, vol. 4, no. 1, 1994; *Human Development*, vol. 37, no. 4, 1994; *European Journal of Psychology of Education*, vol. 7, no. 2, 1997; *Learning and Instruction*, vol. 11, no. 4-5, 2001; *Educational Psychologist*, vol. 42, no. 1, 2007; *Cultural Studies of Science Education*, vol. 3, no. 2, 2008). Esse movimento tem expandido os estudos sobre mudança conceitual para além das ciências naturais, incluindo disciplinas como a matemática (Vosniadou & Verschaffel, 2004), a história (Limón, 2002) e a área de medicina e saúde (Kaufman, Keselman, & Patel, 2008), entre outros. A convergência dessas disciplinas em seu esforço em compreender como as concepções mudam em conteúdo e organização tem levado ao surgimento de um novo campo disciplinar por direito próprio. De fato, nós temos hoje o que pode ser chamado de uma renovada indústria da mudança conceitual.

Isso não quer dizer, no entanto, que todos os que atuam nessa indústria falam a partir de uma única voz. Pelo contrário, o envolvimento de várias disciplinas na pesquisa em mudança conceitual tem produzido uma “plethora de orientações e teorias” (diSessa, 2006). Em virtude disso, a própria noção de mudança conceitual tem se tornado bastante difusa, não havendo um amplo consenso sobre o seu significado. Nas palavras de Mortimer, “assim como ‘construtivismo’, ‘mudança conceitual’ se tornou um rótulo que abrange um grande número de diferentes e, às vezes, inconsistentes visões” (Mortimer, 1995, p. 267, nossa tradução). Na opinião de diSessa (2006), o termo mudança conceitual incorpora uma primeira aproximação daquilo que constitui a dificuldade central dos estudantes: que eles devem construir novas ideias a partir de suas ideias iniciais – por isso a ênfase na “mudança” e não na simples aquisição. Hewson (1992), no entanto, identificou três sentidos distintos para a noção de mudança, conforme o termo tem sido usado na literatura: (1) mudança como *substituição* (com a extinção da primeira forma); (2) mudança como *troca de status* (com a coexistência das duas formas); (3) mudança como *acréscimo* (i.e., uma extensão da forma original).

⁵ Siglas para *European Association of Research in Learning and Instruction* e *American Educational Research Association*, respectivamente.

O qualificador “conceitual”, por outro lado, tende a ser mais ambíguo e, portanto, deve ser interpretado de maneira menos literal. À primeira vista, esse termo sugere que a unidade de análise da pesquisa em mudança conceitual deva ser os *conceitos*. No entanto, se levarmos em conta que a pesquisa em mudança conceitual tem suas origens dentro do programa das concepções alternativas, então fica claro que o foco da pesquisa deve ser as *concepções*. No artigo original de Posner et al. (1982), os autores utilizaram as noções de conceitos e de concepções de maneira indiferenciada, apesar de reconhecerem que esses termos se referem a diferentes níveis de conceitualização⁶. Já na ciência cognitiva, Carey (1985b) focou a análise de conceitos, mas tem sido criticada por não considerar a diversidade de suposições acerca do que constitui um conceito (ver diSessa & Sherin, 1998). No contexto da filosofia da ciência, Toulmin já apontava que conceito é um termo “que todo mundo usa e ninguém explica – muito menos define” (Toulmin, 1972, p. 8, tradução nossa).

Diversos outros autores da área já apontaram a falta de precisão que ainda existe no vocabulário usado pelos pesquisadores para definir a natureza daquilo que as estratégias de ensino deveriam mudar (Caravita, 2001; Limón, 2001; Sfard, 2007). Vosniadou (2002), por exemplo, afirmou que os pesquisadores em educação em ciências e em ciência cognitiva parecem concordar que o conhecimento intuitivo exerce uma grande parcela de influência no modo como uma nova informação é entendida e em como conceitos da ciência são adquiridos, mas discordam sobre como caracterizar a natureza exata desse conhecimento intuitivo. De modo similar, Chi e Roscoe (2002) argumentaram que, apesar de ser um tema amplamente discutido há muitas décadas na psicologia do desenvolvimento, na educação em ciências e na filosofia da ciência, a literatura em mudança conceitual ainda apresenta uma imagem borrada do que vem a ser exatamente as concepções alternativas, o que constitui a mudança conceitual e por que ela é tão difícil de ocorrer.

Uma forte evidência desse estado da arte na pesquisa em mudança conceitual tem sido a proliferação de termos usados para caracterizar o conhecimento prévio dos estudantes. Concepções, conceitos, crenças, teorias, ontologias e modelos mentais são alguns exemplos. Os estudos nessa área têm se caracterizado não apenas pela falta de acordo com relação às categorias básicas a serem utilizadas, mas também no que se refere aos aspectos metodológicos. Segundo diSessa, Gillespie e Esterly (2004), os pesquisadores têm usado

⁶ Uma década mais tarde, Strike e Posner (1992) sugeriram uma distinção entre concepção e conceito ao afirmar que o primeiro, em contraposição ao segundo, tem pluralidade e complexidade interna. Hatano (2005) ilustrou uma distinção similar ao comparar o conceito de bife, que pode ser classificado como um tipo de carne, com a concepção de bife, que é o que se espera de um *chef* profissional, cujo conhecimento inclui um vasto repertório de como preparar um bife, incluindo maneiras de combiná-lo com diferentes temperos e molhos.

diferentes técnicas de coleta de dados (entrevistas clínicas, tarefas experimentais, testes do tipo papel e lápis) para examinar uma gama de conceitos em diversos domínios (a forma da Terra, o efeito de forças, o significado de “ser vivo”) em indivíduos de diferentes idades (crianças pré-escolares, adolescentes, estudantes universitários). Tendo-se em vista essa falta de um terreno comum, é possível que os diferentes resultados de pesquisa sejam mais o reflexo de se fazer diferentes perguntas, de diferentes maneiras, a diferentes sujeitos (op. cit.). Assim, apesar dos grandes avanços da área, a pesquisa em mudança conceitual continua obscurecida pelo fato de que há quase tantas interpretações quanto interpretadores trabalhando nesse campo de estudo.

Em um número especial da revista *Learning and Instruction* (vol. 4, no. 1, 1994) White afirmou que o progresso da pesquisa educacional depende de uma maior precisão nos termos usados “para que não fiquemos perdidos no jargão, termos significativos apenas para seus inventores, com teorias divergindo a um ponto onde não há comunicação” (White, 1994, p. 117, tradução nossa). Em sua análise, a mudança conceitual tem sido frequentemente associada às noções de conceito e concepção. A noção de conceito, por sua vez, tem sido usada de duas maneiras distintas. A primeira delas está relacionada com a noção de classificação. Ter um conceito, nessa perspectiva, significa ser capaz de classificar adequadamente um objeto ou evento como membro de uma determinada categoria. Autores como Carey (1985b), Chi (1992) e Hatano e Inagaki (1997), parecem compartilhar dessa visão.

Outro sentido para o termo conceito se refere ao conjunto de conhecimento que uma pessoa pode associar ao nome do conceito. Nessa perspectiva, o conceito muda toda vez que se aprende algo novo sobre ele. Por exemplo, o conceito de “elefante” fica mais rico quando aprendemos que o número de dedos nas patas traseiras de elefantes africanos é diferente do número de dedos nas patas dianteiras, mas que o mesmo não ocorre para elefantes indianos. Esse tipo de mudança é relativamente fácil de promover já que ela raramente envolve a reconstrução do restante do conhecimento acerca do conceito, sem mencionar o significado de outros conceitos relacionados. Vosniadou (1994) tem se referido a esse tipo de mudança como “acréção”. Novos conhecimentos podem, no entanto, ter um efeito muito mais profundo no significado total que é atribuído a um conceito. Esse processo pode envolver a revisão de crenças iniciais do sujeito e ter uma forte influência sobre sua ação. Essas grandes mudanças tipicamente envolvem explicações detalhadas de um fenômeno e representam aquilo que White (1994) chamou de “mudança concepcional”. Nessa perspectiva, as concepções são

mais bem entendidas como sistemas de explicações. Essa distinção capta alguns dos (mas não todos os) vários significados que têm sido atribuídos à noção de mudança conceitual.

2.2 Quatro distinções básicas para revisar a mudança conceitual

Apesar dos grandes avanços da pesquisa em mudança conceitual, a tentativa de esboçar uma definição única e amplamente aceita do que vem a ser esse construto permanece inapropriada. Juntamente com a mudança conceitual, outros termos relacionados, tais como “crescimento conceitual” (Greeno & Sande, 2007), “troca conceitual” (Hewson, 1981), “prática conceitual” (Krange, 2007), “apreciação conceitual” (Linder, 1993), “perfil conceitual” (Mortimer, 1995), “mudança representacional” (Pozo, Gómez, & Sanz, 1999), “reconstrução conceitual” (Treagust & Duit, 2008b), “mudança concepcional” (White, 1994) e “mudança discursiva” (Wickman & Östman, 2002), e a lista continua, têm surgido na literatura, refletindo a diversidade de abordagens nesse campo de estudo. De fato, o estado da arte da pesquisa em mudança conceitual pode ser descrito com um conjunto de “múltiplas perspectivas que combinam muito senso comum e ideias teóricas num estilo caleidoscópico” (diSessa, 2006, p. 266, nossa tradução).

Assim, ao invés de tentar buscar uma definição precisa para o termo, acreditamos que é mais produtivo delinear o panorama conceitual que tem emoldurado os debates sobre a mudança conceitual. Para tanto, são apresentados quatro distinções básicas que caracterizam as pesquisas desenvolvidas sobre o tema: (1) as abordagens “clássica” e “re-enquadrada”; (2) a controvérsia “coerência” *versus* “fragmentação”; (3) as tendências “frias” e “aquecidas”; (4) a divisão “cognitivo-situativo”. A primeira distinção se refere a uma série de pressupostos de fundo que estão subjacentes às críticas – muitas vezes infundadas – que tem sido dirigida à pesquisa em mudança conceitual. Essa distinção fornece as ferramentas conceituais necessárias para analisar um conjunto de questões que será levantado no contexto das outras distinções. Essas últimas (controvérsia coerência vs. fragmentação, tendências frias e aquecidas e divisão cognitivo-situativo) representam as principais controvérsias envolvidas nos debates contemporâneos sobre mudança conceitual.

É importante destacar que as descrições apresentadas a seguir são simplificações de abordagens consideravelmente mais complexas e cheias de nuances, resultado de intensa pesquisa e contínuo debate entre os proponentes de cada perspectiva. Uma possível alternativa para a presente revisão seria selecionar alguns poucos autores e descrever detalhadamente suas propostas teóricas ou, alternativamente, descrever todos os trabalhos sobre mudança conceitual publicados nos últimos dez anos. No entanto, optamos por uma metodologia mais

exploratória, levantando os artigos de maior impacto na literatura, artigos de revisão sobre o tema e outros trabalhos citados nessa amostra inicial. Como resultado, nossa revisão apresenta, em linhas gerais, *algumas* posições divergentes que estão presentes no debate, não esgotando, no entanto, o universo de abordagens teóricas que continuam surgindo na literatura.

2.2.1 As abordagens clássica e re-enquadrada

Uma primeira distinção a ser feita na pesquisa em mudança conceitual é entre a abordagem “clássica” e a abordagem “re-enquadrada”. A abordagem clássica se refere ao modelo inicial de Posner et al. (1982) e dos refinamentos desse modelo, a partir dos trabalhos de Hewson (1981, 1982) e Hewson e Thorley (1989), publicados na década de 80. Já a abordagem re-enquadrada, por sua vez, se refere às perspectivas contemporâneas da mudança conceitual, desenvolvidas a partir dos anos 90, principalmente no âmbito da ciência cognitiva (Chi, 1992; diSessa, 1993; Vosniadou, 1994). Essa distinção, entre a abordagem clássica e a abordagem re-enquadrada, reflete os avanços da pesquisa em mudança conceitual. Assim, qualquer crítica dirigida aos estudos sobre mudança conceitual deve levar em conta essa distinção básica, uma vez que os pressupostos teóricos que fundamentam as duas abordagens não coincidem. Talvez, a principal diferença entre elas seja a premissa, sustentada pela primeira, de que a mudança conceitual necessariamente envolve uma “substituição” das concepções alternativas dos estudantes por concepções científicas.

A gênese da pesquisa em mudança conceitual pode ser encontrada nos esforços de filósofos da ciência em explicar as mudanças de teorias que ocorrem na história do desenvolvimento científico. Em sua obra mais famosa, Kuhn (1962) defendeu a tese de que o desenvolvimento da ciência ocorre através de revoluções. De acordo como autor, a ciência normal é a atividade científica baseada em uma ou mais realizações do passado. Nela, os membros de uma tradição de pesquisa compartilham um paradigma, que é o conjunto de compromissos básicos acerca das regras e padrões a serem empregados na prática científica. Eventualmente, a atividade científica se depara com problemas que não podem ser adequadamente resolvidos no âmbito do paradigma vigente. Quando a pesquisa científica passa a acumular um número relativamente elevado de anomalias, a comunidade de cientistas começa a perder a confiança no paradigma e surgem as investigações extraordinárias, que eventualmente levam essa comunidade a um novo conjunto de compromissos. Esses episódios, nos quais uma teoria paradigmática é rejeitada em favor de outra, incompatível

com a primeira, foram chamados de revoluções científicas, no qual talvez o melhor exemplo seja a revolução copernicana.

No âmbito da educação em ciências, o estudo da mudança conceitual tem suas origens com o artigo seminal de Posner et al. (1982). Nos anos 80, vários estudos já mostravam que os estudantes não vão às aulas de ciências sem qualquer conhecimento pré-instrucional acerca dos conceitos a serem ensinados, mas, ao contrário, eles mantêm concepções fortemente arraigadas que nem sempre estão em consonância com as concepções dos cientistas (Duit & Treagust, 2003). Construindo a partir de formulações da filosofia contemporânea da ciência, em particular das teses de Kuhn (1962), Posner e seus colegas desenvolveram um modelo teórico para explicar “o processo pelo qual os conceitos centrais, organizadores das pessoas mudam de um conjunto de conceitos para outro conjunto, incompatível com o primeiro” (Posner et al., 1982, p. 211, tradução nossa).

A teoria da mudança conceitual parte da ideia, amplamente aceita na época, de que aprendizagem envolve uma interação entre as ideias pré-instrucionais do estudante e o conteúdo a ser ensinado. De acordo com esse modelo, sempre que um novo conceito for compatível com as concepções iniciais do estudante, esse conceito será incorporado à sua estrutura conceitual. Esse processo foi chamado, pelos autores, de “assimilação”. Na maioria das vezes, no entanto, a nova informação entra em conflito com as concepções prévias do estudante. Nesses casos, ele será obrigado a substituir ou reorganizar seus conceitos centrais se quiser lidar adequadamente com o novo conceito. Esse processo mais radical de mudança conceitual os autores denominaram “acomodação”. Apesar de serem termos piagetianos, as noções de assimilação e de acomodação, usadas nesse modelo, não implicam qualquer compromisso dos autores com a teoria de Piaget, conforme eles próprios assinalaram (Posner et al., 1982, p. 212).

Existem basicamente duas componentes centrais no modelo clássico de mudança conceitual. A primeira delas corresponde às condições necessárias para que o processo de acomodação ocorra. Em primeiro lugar, os estudantes precisam estar insatisfeitos com relação às suas concepções prévias. De acordo com essa condição, é pouco provável que o estudante faça grandes mudanças em seus conceitos centrais, a menos que ele perceba que uma mudança menos radical não irá funcionar. Em segundo lugar, a nova concepção precisa ser inteligível. O estudante precisa entender o que ela significa e perceber como sua experiência pode ser reestruturada a partir dessa nova concepção. Em terceiro lugar, a nova concepção precisa parecer plausível. Isso significa que ela precisa parecer verdadeira para o estudante, além de resolver os problemas gerados por sua antecessora – do contrário, a mudança não

parecerá uma escolha plausível. Finalmente, a nova concepção precisa ser frutífera. Ela deve parecer útil para o estudante, podendo ser estendida a novas áreas de investigação.

A segunda componente central no modelo de mudança conceitual é a noção de “ecologia conceitual”. Esse termo foi apropriado dos escritos de Toulmin (1972) e foi utilizado para designar o conjunto de conceitos e ideias dos estudantes, arraigadas em crenças epistemológicas. Segundo Hewson (1992), os estudantes utilizam a sua ecologia conceitual para avaliar em que medida um determinado conceito satisfaz as condições necessárias para a acomodação, isto é, se uma dada concepção é inteligível, plausível e frutífera. A ecologia conceitual é a componente que influencia a seleção de um novo conceito central, governando o processo de mudança conceitual. Ela é constituída de vários artefatos cognitivos, incluindo anomalias, analogias, metáforas, crenças metafísicas, crenças epistemológicas, conhecimento de outras áreas de investigação, etc.

Ao aprimorar o modelo original de Posner et al. (1982), Hewson (1981)⁷ usou as noções de “captura conceitual” e de “troca conceitual” para se referir aos processos de assimilação e acomodação, respectivamente. Na sua versão do modelo, ele introduziu a noção de “status” de um conceito, que é medido a partir das condições de inteligibilidade, plausibilidade e fertilidade. Quanto maior o número de condições satisfeitas pelo conceito, maior será o seu status. É importante destacar que é o aluno quem decide se tais concepções foram satisfeitas, o que depende fortemente de sua ecologia conceitual. De acordo com esse modelo, um conceito não pode ser frutífero sem antes ser plausível, da mesma forma que um conceito não pode ser plausível sem antes ser considerado inteligível. Para apreciar a utilidade de um novo conceito, o estudante precisa acreditar que o mundo é realmente tal como o conceito o descreve, além de entender exatamente o que esse conceito significa. A partir dessa perspectiva, a tarefa do professor consiste em reduzir o status das concepções alternativas dos estudantes, de modo a aumentar o status das concepções científicas.

O modelo de mudança conceitual apresentado por Posner et al. (1982) e expandido por Hewson (1981, 1982) tornou-se uma abordagem dominante na pesquisa em educação em ciências. De fato, muitos pesquisadores da área passaram a se referir à aprendizagem como um sinônimo de mudança conceitual (Niedderer, Goldberg, & Duit, 1991). Diversas estratégias de ensino baseadas no modelo de mudança conceitual foram propostas e testadas (Scott, Asoko, & Driver, 1991). De acordo com Limón (2001), os esforços em promover a mudança conceitual no ensino de ciências se concentraram em torno de três estratégias

⁷ Apesar de ter sido publicado ainda em 1981, o artigo de Hewson faz várias referências ao modelo original de Posner et al. (in press), o que sugere que esse último foi anteriormente aceito para publicação.

principais: (a) a indução de conflito cognitivo, através da apresentação de dados anômalos; (b) o uso de analogias para orientar a mudança conceitual nos alunos; (c) a aprendizagem colaborativa para promover a discussão coletiva de idéias. No entanto, em parte devido ao relativo fracasso de algumas dessas iniciativas, conforme alguns autores têm apontado (Aguilar, 2001; El-Hani & Bizzo, 2002), a “abordagem clássica” à mudança conceitual, como passou a ser chamada na literatura (Duit & Treagust, 2003; Vosniadou, 2007b, 2008a), tornou-se alvo de várias críticas na década de 90, levando à busca de novos referenciais teóricos.

A primeira grande controvérsia na pesquisa em mudança conceitual ocorreu em torno daquilo que pode ser chamado de pressuposto da substituição. Diferentemente de outras controvérsias desse campo de estudo, essa é uma que já foi resolvida, tendo-se em vista que, atualmente, nenhum teórico da área tem defendido esse pressuposto – pelo menos não explicitamente. De acordo com o pressuposto da substituição, ao ser induzido ao conflito cognitivo, os estudantes ficariam insatisfeitos com as suas concepções iniciais, abandonando-as em favor de uma nova concepção científica, que seja inteligível, plausível e frutífera. A partir dessa perspectiva, o objetivo central da educação em ciências consiste em erradicar as concepções alternativas dos estudantes por meio da instrução.

No início da década de 90, Linder (1993) defendeu a tese de que há um quadro social para a dispersão conceitual – i.e., apropriação de concepções divergentes – e que essa dispersão ocorre na própria ciência (e.g. considere as diferentes conceitualizações do conceito de tempo nos contextos galileano e da relatividade). Tendo em vista essa dispersão conceitual, o autor argumentou que o mais importante é a habilidade de reconhecer um contexto e, em virtude desse reconhecimento, evocar a concepção apropriada. Ao invés de conceber a aprendizagem como uma *mudança* conceitual, ele propôs que a aprendizagem fosse vista em termos de uma “apreciação conceitual”, i.e., uma apreciação delimitada por um contexto. Na perspectiva do autor, o objetivo principal do ensino de ciências deveria ser o de tornar os alunos “capazes de apreciar e entender conceitualizações alternativas de conceitos” (Linder, 1993, p. 295, nossa tradução).

Em um número especial da *Learning and Instruction*, Spada (1994) defendeu que as concepções alternativas são úteis em quase todas as situações da vida cotidiana e que o pensamento científico não está em posição de substituir as ideias do senso comum. De acordo como essa visão, ambas as formas de conhecimento são complementares e o estudante deveria aprender a discriminar as situações em que cada conceito é adequado. A partir dessa perspectiva, o objetivo central do ensino de ciências deveria ser o de promover “múltiplas

representações mentais” (Spada, 1994, p. 115, nossa tradução). Essa posição é consistente com a visão de autores como Caravita e Halldén (1994) e Pozo et al. (1999) e pode ser encontrada no artigo de Solomon (1983). Nesse último, a autora argumenta que os alunos “deveriam ser capazes de pensar e operar em dois diferentes *domínios de conhecimento* e ser capazes de distinguir entre eles” (Solomon, 1983, p. 50, itálico no original, nossa tradução).

Nesse mesmo espírito, Cobern (1996) usou o conceito de “visão de mundo”, da antropologia cultural, para criticar a teoria da mudança conceitual. Sua objeção é com relação à suposição implícita de que as concepções científicas são superiores a outras concepções para dar sentido ao mundo. O autor sustenta que simples ideias têm “força” e “escopo” e que a mudança conceitual faz pouco sentido quando a mudança é para conceitos científicos que são apresentados aos estudantes de tal modo que adquirem pouco significado para a maioria deles. Na terminologia utilizada pelo autor, um conceito tem força e escopo quando ele é central no pensamento do indivíduo e tem relevância em uma grande variedade de contextos. Com base nas ideias de Cobern (1996), El-Hani e Bizzo (2002) argumentaram que é possível que crenças contraditórias convivam na ecologia conceitual do estudante. Na visão dos autores, o ensino de ciência deveria “reconhecer e explicitar domínios particulares do discurso nos quais as concepções científicas e as idéias dos alunos têm, cada qual no seu contexto, alcance e validade” (El-Hani & Bizzo, 2002, p. 12).

Usando uma linha diferente de raciocínio, Moreira e Greca (2003) se fundamentaram na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e Novak (1983) para criticar a teoria da mudança conceitual. Segundo os autores, a mudança conceitual, como substituição de uma concepção por outra na estrutura cognitiva do aprendiz, não existe. Isso porque as concepções alternativas são vistas como produtos de aprendizagens significativas e, portanto, não podem ser “apagadas” (Moreira & Greca, 2003, p. 305). De acordo com a teoria da aprendizagem significativa, a aquisição de um novo conhecimento ocorre quando novos significados são agregados as concepções já existentes, sem apagar ou substituir os significados que essas concepções já possuem. Assim, as concepções vão se tornando progressivamente mais ricas e elaboradas. Portanto, a aprendizagem significativa é vista não como um processo de mudança (i.e., uma substituição), mas sim como um desenvolvimento, evolução ou enriquecimento conceitual.

No Brasil, a teoria alternativa mais conhecida no contexto da pesquisa em educação em ciências é a teoria dos “perfis conceituais” de Mortimer (1995). A partir de uma analogia com a noção de perfil epistemológico de Bachelard (1968), o autor argumentou que é possível usar diferentes pontos de vistas em diferentes contextos e que um novo conceito não substitui

necessariamente uma concepção prévia. Nessa perspectiva, aprender ciências é uma questão de modificar um perfil conceitual e de se tornar consciente das diferentes zonas que constitui esse perfil – o que inclui tanto ideias científicas como as ideias do senso comum. Conforme apontou Aguiar (2001), a noção de perfil conceitual tem sido re-examinada a partir de estudos em sociolinguística (e.g. Mortimer, 1998). Nessa nova leitura dos perfis, os conceitos são vistos como emergindo da comunicação humana e sendo povoados por múltiplas vozes. Nessa perspectiva, o foco está em como as linguagens sociais da ciência e do senso comum são colocadas em contato nas salas de aula para gerar novas formas de entendimento.

Além do pressuposto da substituição, outras premissas básicas da teoria da mudança conceitual foram extensivamente criticadas. Pintrich, Marx e Boyle (1993), por exemplo, argumentaram que a teoria de Posner et al. (1982) apresenta a mudança conceitual como um processo puramente racional, ignorando aspectos motivacionais e contextuais de sala de aula. Hatano (1994), por sua vez, apontou que a perspectiva ocidental à mudança conceitual vê a mudança como um processo puramente individual e cognitivo por natureza, não considerando que a mudança pode ser iniciada, facilitada e consolidada por fatores sociais. Na síntese de Vosniadou (2007b), a abordagem clássica da mudança conceitual pressupõe o aluno como um cientista, a mudança como um processo racional/cognitivo/individual de substituição de teorias, que ocorre em um curto período de tempo, e o conflito cognitivo como a principal estratégia instrucional para promover a mudança conceitual em sala de aula. Essas e outras críticas têm levado ao que se conhece hoje como “abordagem re-enquadrada” da mudança conceitual.

O termo “re-enquadrar” foi originalmente usado por Caravita e Halldén (1994) ao reformular o problema da mudança conceitual a partir do contexto da sala de aula. Os autores também criticaram o pressuposto da substituição, além de se opor ao paralelismo que tem sido construído entre a aprendizagem escolar e o desenvolvimento cognitivo, ou entre a aprendizagem escolar e o desenvolvimento histórico das teorias científicas. Os autores propuseram uma abordagem sistêmica de mudança conceitual, na qual o entendimento sobre determinado tópico cresce durante um longo período de tempo e requer contextos variados e a aplicação de estratégias de aprendizagem variadas. A partir de exemplos empíricos de sala de aula, os autores avaliaram o impacto produzido por vários contextos de atividade e discurso (construção de modelos, de mapas conceituais, desenhos e encenação dramática), envolvendo formas de raciocínio relativas aos conceitos de organismo, adaptação e hereditariedade genética. A partir dessa perspectiva, a mudança conceitual é vista como o crescimento gradual de novas estratégias de pensamento na criança.

Mais recentemente, o termo “re-enquadrar” passou a ser usado para caracterizar a pesquisa contemporânea em mudança conceitual (Vosniadou, 2007b, 2008a; Vosniadou et al., 2007). Para Vosniadou (2007b) a abordagem re-enquadrada é uma abordagem construtivista que evita muitas das críticas dirigidas às tentativas anteriores de descrever o processo de mudança conceitual na aprendizagem e no desenvolvimento. Na abordagem de Vosniadou (2002), as crianças iniciam o processo de aquisição de conhecimento organizando suas experiências sensoriais em um limitado, porém coerente quadro explicativo. Os quadros explicativos diferem substancialmente das teorias científicas e são compostos por crenças, pressupostos e representações mentais. Durante a instrução formal, elementos das teorias científicas são assimilados ao quadro explicativo inicial da criança, destruindo sua coerência e formando modelos mentais internamente inconsistentes. Na visão dessa autora (Vosniadou, 1994), a mudança conceitual é um processo lento e gradual, no qual elementos do quadro explicativo inicial, tais como pressupostos ontológicos, são reestruturados de modo a se tornarem consistentes com as visões científicas atualmente aceitas.

A abordagem de Vosniadou (1994, 2002) à mudança conceitual é consistente em muitos aspectos com a abordagem de Chi e colaboradores (Chi, 1992; Chi & Roscoe, 2002; Chi, Slotta, & Leeuw, 1994). Na visão de Chi e Roscoe (2002), as concepções alternativas são categorizações equivocadas (*miscategorization*) que ocorrem quando um indivíduo assinala um conceito a uma categoria ontológica distinta. Por exemplo, conceitos como força ou calor são normalmente tratados como “substâncias”, quando, na realidade, eles são cientificamente definidos como “processos”. Substância e processo são categorias que pertencem a diferentes árvores ontológicas. Assim, a mudança conceitual é vista como sendo uma troca de categoria que envolve necessariamente o cruzamento de uma fronteira ontológica. As concepções se tornam difíceis de mudar quando os estudantes não têm consciência da necessidade de designar um determinado conceito a uma categoria ontológica alternativa ou quando ele não dispõe de uma categoria alternativa para realizar a troca.

2.2.2 A controvérsia coerência versus fragmentação

Uma segunda importante distinção a ser feita na pesquisa em mudança conceitual está relacionada à controvérsia “coerência” versus “fragmentação”. Essa controvérsia se refere ao modo como diferentes pesquisadores têm concebido a organização estrutural do conhecimento prévio. Esse tema tem sido o foco de acalorado debates na literatura recente (e.g. diSessa, 2008). Alguns teóricos da mudança conceitual, tais como Carey (1985b, 1986) e

Vosniadou (1994, 2002, 2007b), partem do pressuposto de que o conhecimento intuitivo é altamente organizado em “estruturas do tipo teorias”. Já os partidários da perspectiva da fragmentação, tais como diSessa (1993) e Özdemir e Clark (2007), sustentam que o conhecimento intuitivo é constituído de elementos quase independentes, formando uma estrutura conceitual complexa ou “ecologia conceitual” (diSessa, 2002). Conforme será mostrado a seguir, essas duas perspectivas do conhecimento intuitivo formam quadros radicalmente distintos do processo de mudança conceitual.

Uma importante influência na pesquisa em mudança conceitual tem sido o uso de analogias com a história do desenvolvimento científico. Alguns pesquisadores traçaram essa analogia ao nível do conteúdo, apontando similaridades entre as ideias iniciais dos estudantes e teorias científicas medievais⁸ (Clement, 1982; McCloskey, 1983; Viennot, 1979). Outros teóricos esboçaram essa analogia em termos do mecanismo de mudança, aproximando os processos de assimilação e acomodação cognitivas do aprendiz aos períodos kuhnianos de ciência normal e revolução científica, respectivamente (Carey, 1985b; Posner et al., 1982).

Conforme apontou diSessa (2006), subjacente à analogia mais ampla com a história da ciência está o pressuposto da “coerência”. De acordo com esse pressuposto, o conhecimento intuitivo do estudante é visto como sendo coerente e sistemático, adquirindo assim o status de teoria. Do ponto de vista dessa perspectiva, os estudantes têm teorias no mesmo sentido que um cientista as tem. Alguns autores como Vosniadou (2002) têm adotado uma posição mais cautelosa ao destacar as diferenças cruciais existentes entre as teorias ingênuas do estudante e as teorias científicas (a limitação na sistematicidade, o alcance de aplicação e a consciência meta-cognitiva, etc.). Ainda assim, os adeptos dessa perspectiva assumem que os estudantes usam suas teorias intuitivas de modo sistemático para formular explicações e fazer previsões dos fenômenos do cotidiano. Essas explicações e previsões são supostamente consistentes entre diferentes domínios. Assim, a aquisição de conhecimento, nessa perspectiva, passa a ser vista como um processo revolucionário de mudança conceitual, de modo similar às mudanças de paradigmas na história da ciência.

Uma importante proponente da perspectiva da coerência é Carey (1985b). A autora foi pioneira no uso de analogias com a história da ciência nos estudos sobre desenvolvimento cognitivo. De acordo com Carey, as teorias da inteligência de domínio geral não podem explicar as mudanças que ocorrem na biologia intuitiva das crianças. Ao invés de abordar o desenvolvimento cognitivo em termos de reestruturações globais, conforme a tradição

⁸ Para uma revisão sobre esse tema, ver Rezende e Barros (2001).

piagetiana, a autora defendeu que as crianças desenvolvem teorias intuitivas na medida em que elas aumentam seu conhecimento em um domínio específico. Para lidar com a especificidade de domínio, a autora revisou estudos de ciência cognitiva sobre as mudanças que ocorrem quando um novato em dado domínio se torna um especialista. Mas ao invés de assumir que o novo conhecimento é construído a partir de novas relações entre os conceitos de um domínio, ela viu na filosofia da ciência uma forma muito mais radical de reestruturação do conhecimento.

Na perspectiva de Carey (1985b), o desenvolvimento cognitivo envolve mudança conceitual. Ela analisou as mudanças nos conceitos de animal, pessoa, planta, seres vivos e outros que ocorrem na faixa dos quatro aos dez anos de idade. Segundo a autora, esse período é caracterizado pelo surgimento da biologia intuitiva como um domínio próprio de teorização, independente da psicologia intuitiva. A autora identificou dois tipos de reestruturação do conhecimento: a “reestruturação fraca” e a “reestruturação forte”. O primeiro envolve novas relações entre conceitos, motivando a criação de novos esquemas ou mudanças de crença. Já a reestruturação forte consiste em um tipo mais radical de mudança e envolve processos como a diferenciação (quebra de um conceito em dois) ou a coalescência (fusão de dois conceitos). Para Carey (1985a), a natureza do pensamento da criança não é diferente da do adulto – ambos são coerentes, porém incomensuráveis entre si. A autora reconhece que a validade do pressuposto da coerência é uma questão de ordem empírica. Porém, ela afirmou que “devemos apelar às teorias intuitivas para indicar restrições na indução, para explicar compromissos ontológicos e noções causais, para analisar mudança conceitual, e assim por diante” (Carey, 1986, p. 1129, nossa tradução).

Outra importante proponente da perspectiva da coerência é Vosniadou (1994, 2002). Diferentemente de Carey (1985b), que investiga o desenvolvimento cognitivo na infância, a autora procura investigar o que ocorre quando crianças são expostas ao ensino sistemático de ciências no contexto escolar. Partindo das pesquisas sobre o desenvolvimento cognitivo, Vosniadou (1999) defende que o processo de aquisição de conhecimento começa cedo na infância e é guiado por alguns princípios. Com base nos estudos de Spelke (1991), a autora afirmou que crianças com poucos meses de idade já entendem algumas características dos objetos físicos tais como o fato de eles serem sólidos, de não se moverem por conta própria e de caírem quando não são sustentados por outros corpos. Assim, antes de serem expostas à instrução sistemática, as crianças já adquirem informações sobre o mundo físico, a partir de suas experiências diárias.

De acordo com Vosniadou (1994), o conhecimento inicial da criança pode ser descrito em termos de um complexo sistema conceitual, formado por crenças, pressupostos ontológicos e epistemológicos e modelos mentais. Esse sistema conceitual tem sido chamado, pela autora, de “teoria quadro” (*framework theory*). Diferentemente das crenças, que são baseadas em observações superficiais da realidade, os pressupostos ontológicos e epistemológicos são construtos teóricos muito mais profundos e, portanto, mais difíceis de mudar. Os modelos mentais, por sua vez, são formas de representações dinâmicas que podem ser manipuladas mentalmente para fornecer explicações causais e fazer previsões sobre o estado de coisas no mundo. Apesar de facilitar a aquisição de conhecimento, a teoria quadro pode, eventualmente, impedir a aprendizagem futura, especialmente no caso do conhecimento científico. Isso porque as explicações científicas dos fenômenos naturais são radicalmente diferentes daquelas que as crianças constroem a partir de suas experiências diárias.

No início dos anos 90, Vosniadou e Brewer (1992) mostraram que crianças pequenas concebem o planeta Terra como um objeto físico (e não como um objeto astronômico), com uma forma de disco ou retângulo plano. Esse conceito inicial e intuitivo de Terra exerce uma forte influência no modo como essas crianças interpretam as informações sobre o formato esférico do planeta. Assim, algumas crianças passam a acreditar que Terra é uma esfera, mas com a superfície achatada na parte superior do globo (local onde vivem as pessoas); outras passam a conceber a Terra como uma esfera oca, contendo um piso plano no seu interior – ver figura 5. Essas concepções alternativas, ou interpretações equivocadas, são o resultado da tentativa da criança de conciliar seus pressupostos ontológicos e epistemológicos com as informações científicas que elas recebem da cultura.

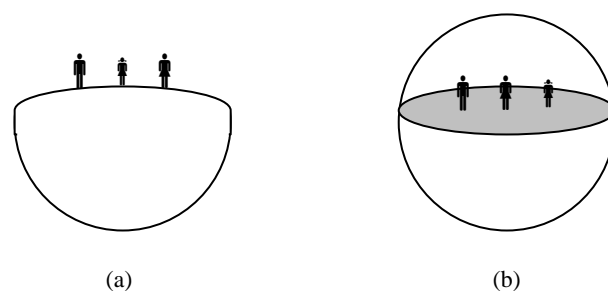


Figura 5. Representação dos “modelos sintéticos” de Terra: (a) esfera com superfície achatada na parte superior do globo; (b) esfera oca com piso plano no seu interior.

Em suma, as concepções alternativas, na perspectiva de Vosniadou (2002, 2007b), são modelos mentais híbridos ou “modelos sintéticos”, que são gerados durante o processo de instrução. Esses modelos são produzidos em virtude da criança não ter conhecimento explícito

de suas próprias crenças. Assim, elas não conseguem perceber as contradições entre suas teorias ingênuas e as explicações científicas, nem as distorções da visão científica que elas acabam produzindo (Vosniadou, 2007b). Nessa perspectiva, a aprendizagem de ciências é vista como um processo lento e gradual no qual aspectos da informação científica são adicionados à teoria quadro, destruindo sua coerência até que (se for o caso) ela seja reestruturada de modo a torná-la consistente com as visões científicas atualmente aceitas. Assim, a mudança conceitual requer não apenas a reestruturação das teorias ingênuas do estudante, mas também a criação de uma consciência metaconceitual e intencionalidade.

No outro lado do debate, um grupo complementar de pesquisadores tem argumentado que as ideias ingênuas dos estudantes existem em grande número, são bastante diversas e atóricas, em qualquer sentido forte. Essa posição tem crescido gradualmente em influência e está apoiada no que se conhece hoje como hipótese da “fragmentação”. De acordo com essa perspectiva, o conhecimento é constituído de múltiplos elementos quase independentes, de modo que a aquisição de conhecimento é vista como um processo que envolve o aumento de sistematicidade e de coerência desses elementos iniciais. Assim, a mudança conceitual é concebida como um processo evolucionário que envolve a revisão, o refinamento e a reorganização do conhecimento prévio, mais do que como uma substituição revolucionária de teorias.

No início dos anos 80, Minstrell (1982) considerou as ideias intuitivas dos estudantes como recursos para a aprendizagem, mais do que como obstáculos para uma mudança conceitual em Física. Essa visão contrastava com a visão dominante da época, promovida pelo programa das concepções alternativas. Em estudos mais recentes, Hunt and Minstrell (1994) utilizaram a noção de “facetas” para descrever as ideias relevantes que os estudantes trazem para dentro das aulas de ciências. De acordo com esses autores, as facetas são fatos explicativos, que são considerados relativamente independentes. Um exemplo de faceta pode ser a ideia de que “coisas mais pesadas caem mais rápido” (por causa do seu peso). Conforme apontou diSessa (2006), Hunt e Minstrell (1994) examinaram uma diversidade de facetas no ensino de física elementar e, na visão desses autores, nenhuma teoria intuitiva coerente foi encontrada.

Ainda na perspectiva da fragmentação, Clark (2003) realizou um estudo longitudinal com alunos aprendendo elementos básicos de calor e temperatura. Nesse trabalho, ele rastreou afirmações do tipo “facetas” em entrevistas envolvendo resolução de problemas e explicações por parte dos estudantes. Segundo diSessa et al., (2004), as conclusões de Clark (2003) se situam firmemente no lado fragmentado da controvérsia. Os resultados do estudo mostraram

que as facetas crescem e diminuem no raciocínio dos alunos. Além disso essas facetas mostraram tentativas de conexões com outros elementos e essas conexões cresciam apenas de modo gradual e, de certa forma, erradicamente. Esses resultados contrastam fortemente com afirmações anteriores sobre o desenvolvimento do conhecimento de calor e temperatura no indivíduo, como, por exemplo, a de que os conceitos de calor e de temperatura são o resultado da diferenciação do conceito de calórico (e.g. Wiser & Carey, 1983).

O principal proponente da perspectiva da fragmentação, entretanto, é seguramente diSessa (1988, 1993). Ele desenvolveu uma abordagem alternativa à física intuitiva, chamada “conhecimento em pedaços”, segundo a qual o conhecimento intuitivo do aluno é constituído basicamente de centenas de milhares de esquemas auto-explicativos que são desarticulados entre si e que são ativados em contextos específicos. Esses esquemas são interpretações superficiais da realidade, tipicamente abstraídas de situações comuns, e são chamados de “primitivos fenomenológicos”, ou mais convenientemente p-prims⁹. O termo fenomenológico se refere ao fato de que os p-prims são relativamente aparentes aos indivíduos, nos contextos do mundo real. Por exemplo, todo mundo sabe que “mais esforço gera mais resultado” e isso é visto em nossa interação diária com o mundo. Já o termo primitivo envolve dois sentidos distintos. Em primeiro lugar, os p-prims são primitivos porque eles são tipicamente evocados como um todo. Em segundo lugar, os p-prims são explicativamente primitivos no sentido de que nossa “atitude em relação a eles é de que eles são o que acontece naturalmente no mundo” (diSessa et al., 2004, p. 857, nossa tradução).

Assim, os p-prims proporcionam aos indivíduos um sentido de quais eventos são naturais, quais são surpreendentes e por quê. Exemplos de p-prims incluem “força como um movedor” (coisas se movem na direção em que são empurradas), “p-prims de Ohm” (mais esforço, mais resultado; maior resistência ao esforço, menos resultado), “morrendo aos poucos” (movimento induzido simplesmente cessa, assim como o som de um sino), entre outros. Heuristicamente, os p-prims podem ser caracterizados como entidades mentais que estão abaixo do nível dos conceitos (talvez no nível do sentido das palavras individuais). É importante destacar que o conhecimento intuitivo, segundo essa teoria, não é caótico ou aleatório, mas está longe de ser fortemente sistemático. Coletivamente, os p-prims exibem certa sistematicidade, mas não o suficiente para ser produtivamente descritos como teorias.

Muitas das concepções alternativas, encontradas na literatura, têm sido reinterpretadas a partir da perspectiva do conhecimento em pedaços (e.g. diSessa, 1993). A teoria do Impetus,

⁹ P-prims é uma abreviação para *Phenomenological primitives* (em português, primitivos fenomenológicos).

apresentada por McCloskey (1983), por exemplo, parece ter a influência local de cerca de meia-dúzia de p-prims, adaptados a uma classe particular de situações. No entanto, os p-prims do Impetus quase nunca trabalham em conjunto. Trabalhos como o de Ranney (1988) sobre as concepções intuitivas em balística, por exemplo, têm mostrado empiricamente pelo menos algum grau de divergência contextual entre alguns aspectos do Impetus. Mais recentemente, diSessa e Sherin (1998) desenvolveram um modelo que explica como os p-prims participam do desenvolvimento de um conceito técnico, tal como força. Esse modelo envolve a noção de “classes de coordenação”, que são modelos explicativos de certo tipo de conceitos. Essas classes de coordenação formam sistemas cognitivos mais amplos cuja própria existência implica um alto grau de coordenação entre diversos contextos. Nesse modelo, os p-prims constituem fragmentos de classes de coordenação que, em conjunto com os modelos mentais e outras entidades cognitivas, formam a ecologia conceitual.

Na teoria de diSessa (1988, 1993), a mudança conceitual envolve o aumento na coerência e na sistematicidade de um coletivo de p-prims. Os p-prims estão organizados em uma rede conceitual e são ativados através de um mecanismo de reconhecimento que depende da conexão que esses p-prims têm com outros elementos do sistema. Em outras palavras, a aprendizagem de ciências é vista como um processo de coleta e sistematização de “pedaços” de conhecimento em um todo mais amplo. Nesse processo, ocorrem mudanças na função dos p-prims, que deixam de ser auto-explicativos e se tornam mais fortemente ligados a estruturas mais complexas, tais como leis e princípios científicos. Assim, elementos e interações são revisados e refinados por meio da adição, eliminação e reorganização da rede conceitual.

Hipótese da coerência	Hipótese da fragmentação
<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento intuitivo organizado em estruturas do tipo teoria. • Consistência de ideias entre contextos. • Mudança conceitual como um processo revolucionário. • Coerência e consistência entre ideias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento intuitivo constituído de elementos quase independentes • Ideias altamente sensíveis ao contexto. • Mudança conceitual como um processo evolucionário. • Coexistência de ideias conflitantes.

Tabela 1. Divergências entre as perspectivas da coerência e da fragmentação.

Em suma, a abordagem da fragmentação assume que nosso conhecimento intuitivo não forma um todo coerente e sistemático, mas é formado por elementos quase independentes, que são ativados por aspectos do contexto. Essa relativa independência dos “pedaços” torna possível a coexistência de ideias conflitantes no sistema conceitual. Além disso, a falta de

coordenação entre os elementos do sistema torna o conhecimento intuitivo inconsistente *entre* contextos. Assim, a mudança conceitual é vista como a busca por coerência e sistematização desses elementos. Essa visão leva a uma imagem mais evolucionária da mudança conceitual, na qual elementos independentes tornam-se progressivamente mais estruturados, formando um todo mais complexo. As principais diferenças¹⁰ entre as perspectivas da coerência e da fragmentação estão representadas na tabela 1.

2.2.3 As tendências frias e aquecidas

Uma terceira distinção a ser feita nesse campo de estudo é entre as tendências “frias” e as “aquecidas” na pesquisa em mudança conceitual. Essa distinção é importante porque ela pode evitar uma série de críticas equivocadas que são frequentemente dirigidas à mudança conceitual como um todo. As tendências frias representam abordagens excessivamente racionais à mudança conceitual, motivadas principalmente pela metáfora do estudante-cientista. As tendências aquecidas, por sua vez, são abordagens inspiradas no influente artigo de Pintrich et al. (1993). Esses trabalhos têm defendido a inclusão de aspectos motivacionais, afetivos e situacionais no processo de mudança conceitual. As tendências aquecidas na pesquisa em mudança conceitual têm levado a criação de um novo construto: a noção de “mudança conceitual intencional” (Sinatra & Pintrich, 2003).

Um aspecto dominante na pesquisa em mudança conceitual, que está diretamente relacionado com o pressuposto da coerência e com a analogia mais ampla com a história da ciência, é a visão racional de aprendizagem. De acordo com essa visão, o estudante, assim como o cientista, tende a manter suas concepções iniciais, a menos que haja um bom motivo, embasado em argumentos racionais, para abandoná-las – i.e., uma boa razão. Provavelmente, o melhor exemplo de um modelo racional de mudança conceitual seja o modelo desenvolvido por Posner et al. (1982). Em seu artigo original, os autores apresentaram abertamente uma visão racional de aprendizagem, segundo a qual o aprender é comparado com o processo de investigação. Nas palavras dos autores:

[n]osso compromisso central nesse estudo é que a aprendizagem é uma atividade racional. Isto é, aprender é fundamentalmente vir a compreender e aceitar ideias porque elas são vistas como inteligíveis e racionais. A aprendizagem é, assim, um tipo de investigação. Os estudantes devem fazer julgamentos com base nas evidências disponíveis (Posner et al., 1982, p. 212, nossa tradução).

¹⁰ Para uma revisão mais detalhada da controvérsia coerência *versus* fragmentação, recomendam-se as seguintes leituras: diSessa (2008), diSessa et al. (2004) e Özdemir e Clark (2007).

É importante apontar que os autores reconheceram a presença de fatores motivacionais e afetivos no processo de aprendizagem. No entanto, esses fatores foram reduzidos a variáveis adicionais e secundárias, conforme mostra a citação abaixo.

Isso, é claro, não implica que variáveis motivacionais e afetivas não sejam importantes para o processo de aprendizagem. A afirmação de que a aprendizagem é uma atividade racional é feita para focar a atenção no que a aprendizagem é, e não do que a aprendizagem depende. (ibid.).

E os autores continuam.

A aprendizagem diz respeito à ideias, à sua estrutura e às evidências para elas. Não é simplesmente a aquisição de um conjunto de respostas corretas, um repertório verbal ou um conjunto de comportamentos. Acreditamos que isso implica que a aprendizagem, assim como a investigação, é mais bem vista como um processo de mudança conceitual. A questão básica diz respeito a como as concepções dos estudantes mudam sob o impacto de novas ideias e novas evidências. (ibid.).

Em uma reformulação do seu modelo original, Strike e Posner (1992) deram um passo atrás, em sua visão racional, e apontaram a necessidade de incluir aspectos motivacionais e afetivos na mudança conceitual. Conforme apontou Sinatra (2005), chega a ser irônico que os autores tenham levado uma década para reconhecer a necessidade de tal inclusão, tendo-se em vista, principalmente, que a condição de insatisfação, presente no modelo clássico original (Posner et al., 1982), claramente propicia os estudantes com uma razão afetiva para mudar o conhecimento existente. Nas palavras dos autores:

[u]m maior conjunto de fatores precisa ser levado em conta ao tentar descrever a ecologia conceitual do aprendiz. Motivos e objetivos e a fonte institucional e social dos mesmos precisam ser considerados. A ideia de ecologia conceitual então precisa ser mais abrangente do que os fatores epistemológicos sugeridos pela história e filosofia da ciência. (Strike & Posner, 1992, p. 174, nossa tradução).

De certa forma, Strike e Posner (1992) anteciparam algumas das críticas que foram apresentadas no influente artigo de Pintrich et al. (1993), intitulado *Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change*. Nesse artigo, os autores apontaram que a teoria clássica de Posner et al. (1982) constitui um modelo “frio” de mudança conceitual por apresentar uma visão puramente racional do processo de aprendizagem, ignorando fatores motivacional e contextuais de sala de aula (Pintrich et al., 1993). As críticas colocadas por Pintrich e seus colaboradores estão focadas em três aspectos principais. Em primeiro lugar, a metáfora da

ecologia conceitual, enquanto um grupo de ideias competindo pelo mesmo nicho conceitual, parece limitada na medida em que estudantes têm propósitos enquanto que ecossistemas não. Em segundo lugar, as quatro condições para a mudança conceitual, presentes no modelo clássico original, são apresentadas como se os estudantes operassem de modo frio e racional, i.e., ignorando a influência que os construtos motivacionais podem exercer na avaliação sobre se essas condições podem ou não ser satisfeitas. Finalmente, a metáfora do estudante-cientista e a noção de sala de aula como uma comunidade de cientistas é bastante problemática. Essa abordagem assume que os objetivos e intenções dos jovens na escola são análogos, se não idênticos, aos objetivos e intenções dos cientistas e das comunidades científicas.

A teoria clássica de Posner et al. (1982), no entanto, não é a única que pode ser classificada como um modelo frio de mudança conceitual. Conforme Sinatra (2005) tem apontado, antes do artigo de Pintrich et al. (1993), poucos esforços foram direcionados à articulação entre cognição e motivação nos estudos sobre mudança conceitual. Na ciência cognitiva, por exemplo, trabalhos como os de Chi (1992) e de Vosniadou e Brewer (1992) apresentam uma descrição das mudanças nas representações mentais dos alunos. Eles contribuíram para um melhor entendimento da profundidade e da extensão dessas mudanças quando um estudante passa a compreender, digamos, o conceito de calor – não como uma substância, mas como um processo (Chi, 1992). Ironicamente, a própria noção de “resistência à mudança”, tão central nessa linha de pesquisa, tem uma forte dimensão motivacional. Ainda assim, nenhum desses autores descreveu explicitamente como construtos motivacionais e afetivos estão implicados na criação e manutenção da resistência dos estudantes em aceitar novas ideias científicas (Sinatra, 2005).

Exemplos de mudança conceitual fria também podem ser encontrados no contexto da psicologia do desenvolvimento. Carey (1985b), por exemplo, analisou como as crianças formam suas concepções intuitivas com base na sua experiência diária e como essas concepções diferem das concepções de adultos. Apesar de contribuírem para um melhor entendimento de como o desenvolvimento cognitivo influencia o crescimento conceitual na infância, esses estudos enfatizaram exclusivamente a cognição e não consideraram aspectos motivacionais, afetivos e contextuais nos processos de mudança conceitual ao longo do desenvolvimento.

Além das três objeções à teoria de Posner et al. (1982), mencionadas acima, Pintrich et al. (1993) apontaram uma aparente paradoxo no modelo clássico de mudança conceitual, segundo o qual o conhecimento prévio – considerado essencial à aprendizagem na literatura psicológica – passa a atuar como um obstáculo para aquisição de novos conceitos científicos.

Além disso, a abordagem da mudança conceitual também não explica por que estudantes que parecem ter atingido um nível de conhecimento adequado não ativam esse conhecimento em muitas das tarefas de sala de aula. Esse aparente paradoxo é facilmente resolvido com a inclusão de construtos motivacionais. Segundo Pintrich et al. (1993), apesar de possuir o conhecimento adequado, o estudante pode não ter o objetivo de dar sentido ao conteúdo a ser ensinado ou a motivação necessária para resolver as discrepâncias entre o seu conhecimento prévio e a nova informação.

Em conexão com aspectos motivacionais, Pintrich et al. (1993) analisaram a influência dos fatores contextuais de sala de aula. De acordo com os autores, estratégias focadas somente na cognição são úteis para investigar as competências cognitivas gerais dos indivíduos em contextos experimentais, onde eles são providos de tarefas relativamente bem definidas. Esse modelo, no entanto, “perde alguma utilidade quando aplicado ao engajamento cognitivo real dos estudantes em tarefas acadêmicas de sala de aula” (Pintrich et al. 1993, p. 168, nossa tradução). Além de considerar as relações intra-individuais entre componentes motivacionais e cognitivos, os autores alertaram para o fato de que o “contexto real de sala de aula pode influenciar a motivação e a cognição dos estudantes e, mais importante, a interação entre esses dois construtos” (ibid.). Assim, os autores esboçaram uma agenda para a pesquisa em mudança conceitual, a partir de um quadro teórico que inclui interações entre construtos cognitivos e motivacionais, assim como fatores contextuais.

Ao revisarem estudos sócio-cognitivos, Pintrich et al. (1993) sugeriram a inclusão de quatro construtos motivacionais na pesquisa em mudança conceitual: objetivo, interesse, auto-eficiência e controle. Os objetivos representam os diferentes propósitos que um estudante pode adotar em diferentes situações. Uma distinção básica é feita entre “orientação de domínio” e “orientação de desempenho”. Estudantes que adotam a orientação de domínio focam na aprendizagem em si enquanto que estudantes que adotam a orientação de desempenho se concentram em obter boas notas. Os primeiros têm maior probabilidade de se engajarem em processos cognitivos mais profundos. As atividades de sala de aula, por outro lado, podem ter impacto nos objetivos adotados pelos estudantes. Tarefas mais desafiadoras e autênticas, que sejam relevantes para a vida do estudante fora da escola, podem facilitar a adoção de uma orientação de domínio.

Outro construto que influencia a qualidade do engajamento cognitivo do estudante é o interesse. Ele pode influenciar as orientações motivacionais que os estudantes adotam em sala de aula. O interesse se refere simplesmente à preferência do estudante com relação a um determinado conteúdo escolar. Esse construto, no entanto, pode se referir também à visão

instrumental do estudante com relação à utilidade do conteúdo em questão (e.g. para arranjar um emprego ou entrar na faculdade). Finalmente, o interesse pode ter uma orientação mais pessoal, como o valor que as ciências naturais normalmente têm para sujeitos que escolhem seguir carreiras científicas.

Se por um lado, os objetivos e interesses representam as razões para se engajar em diferentes tarefas escolares, a auto-eficácia, por outro, representa as crenças do estudante relativas às suas próprias capacidades de desempenhar uma tarefa. Na mudança conceitual, esse construto pode ser traduzido em termos da confiança que o estudante tem em relação a sua própria concepção (quanto maior a confiança, maior a resistência à mudança). A auto-eficácia também pode ser vista como a confiança que o estudante tem com relação a sua própria aprendizagem. Essa visão é compatível com o modelo revisado de Strike e Posner (1992), que afirma que estudantes que têm confiança em sua habilidade em compreender conceitos científicos devem experimentar uma maior mudança conceitual.

Finalmente, outro importante construto motivacional está relacionado às crenças dos estudantes sobre a quantidade de controle que eles têm sobre o seu próprio comportamento. Esse controle pode ser interno, externo ou desconhecido. Estudantes que acreditam ter um controle interno sobre sua própria aprendizagem, em oposição àqueles que acreditam em um controle externo ou desconhecido, tendem a ter um melhor desempenho escolar. Na mudança conceitual, crenças acerca do controle que se tem sobre a aprendizagem pode direcionar o nível de acomodação ou assimilação da nova informação. Essa visão geral dos construtos motivacionais aplicados à mudança conceitual foi sistematizada por Pintrich (1999) e tem sido testada empiricamente desde então (e.g. Linnenbrink e Pintrich, 2002).

Em um tributo a Paul Pintrich, Sinatra (2005) apresentou dois modelos de mudança conceitual que levam em consideração às sugestões apresentadas por Pintrich et al. (1993). O Modelo de Reconstrução Cognitiva do Conhecimento, de Dole e Sinatra (1998), descreve a interação entre o aprendiz e as características da mensagem, que podem levar a diferentes graus de engajamento com o novo conceito. Dentre as principais características da mensagem, os autores destacaram a inteligibilidade, a coerência, a plausibilidade e a retórica convincente. Com relação ao aprendiz, os autores incluíram elementos do conhecimento prévio (força, coerência e comprometimento), fatores motivacionais (insatisfação e relevância pessoal, tal como interesse, objetivo e controle), contexto social e apelo à cognição. A interação entre esses elementos e as características da mensagem determina o grau de engajamento com a nova informação. Esse grau varia em um *continuum* desde baixo engajamento cognitivo até alto engajamento metacognitivo.

Mais recentemente, Gregoire (2003) propôs o Modelo Cognitivo-Afetivo de Mudança Conceitual. Esse modelo foi desenvolvido para explicar por que professores resistem em adotar reformas curriculares que entram em conflito com suas crenças sobre ensino. De acordo com o autor, o estado de afetividade, enquanto parte do processo de apreciação, serve como informação adicional quando os indivíduos interagem com uma mensagem complexa e estressante. O autor faz uma distinção entre “abordar como objetivo” e “evitar como objetivo”. Essa distinção está relacionada à como os indivíduos veem a reforma curricular, ou seja, se eles a veem como um desafio ou como uma ameaça. A contribuição central desse modelo está na afirmação de que a apreciação da informação ocorre automaticamente, antes mesmo que as características da mensagem sejam seriamente consideradas e totalmente compreendidas. De acordo com esse princípio, se professores adquirirem consciência dessa tendência, será possível para eles superar sua rejeição inicial.

Conforme Sinatra (2005) observou, embora o tema da mudança conceitual não fosse o principal campo de atuação de Paul Pintrich, o artigo em co-autoria de Ronald Marx e Robert Boyle (Pintrich et al., 1993), mudou profundamente a pesquisa nessa área, trazendo uma nova tendência aquecida à mudança conceitual. Diversos teóricos da mudança conceitual aceitaram o desafio colocado por esses autores e passaram a conceber o processo de aprendizagem como uma atividade orientada para um objetivo. Esse movimento levou ao construto de “mudança conceitual intencional” (Sinatra & Pintrich, 2003), que incorpora diversos fatores afetivos e motivacionais na pesquisa¹¹.

2.2.4 A divisão cognitivo-situativo

Finalmente, uma quarta distinção básica a ser feita na pesquisa em mudança conceitual é entre a abordagem cognitiva e a sociocultural (situativa). Essa distinção representa uma das maiores controvérsias, referente à natureza da cognição humana, existentes nas áreas da psicologia e da educação em ciências. Nas últimas duas décadas, o debate entre essas duas perspectivas, também chamado de “divisão cognitivo-situativo” (Vosniadou, 2007a), tem sido transferido para a área de pesquisa em mudança conceitual. A abordagem cognitiva à mudança conceitual vê a aprendizagem como um processo cognitivo interno e se concentra na análise das representações mentais do indivíduo. A abordagem sociocultural, por outro lado, concebe o processo de aprendizagem como um fenômeno social e cultural, “situado” nas práticas sociais e discursivas de uma comunidade. Esse debate, ainda em aberto, tem resultado

¹¹ Para uma visão mais detalhada das perspectivas futuras da pesquisa em mudança conceitual, segundo as tendências aquecidas, recomendam-se as seguintes leituras: Pintrich e Sinatra (2003) e Sinatra (2005).

em duas grandes tendências na pesquisa em mudança conceitual. Em primeiro lugar, vários pesquisadores da área estão assumindo a tarefa de reconsiderar o problema da mudança conceitual a partir da perspectiva sociocultural (Furberg & Arnseth, 2009; Ivarsson, Schoultz, & Säljö, 2002; Roth, Lee, & Hwang, 2008; Säljö, 1999). Em segundo lugar, teóricos da mudança conceitual estão debatendo a possibilidade de reconciliação entre essas duas perspectivas (Alexander, 2007; Mercer, 2007; Roth, 2008; Treagust & Duit, 2008b) e algumas propostas já estão sendo apresentadas (Greeno & Sande, 2007; Vosniadou, 2007a).

Em um artigo de introdução a um número especial da *Educational Psychologist*, Mason (2007) apontou que a pesquisa em mudança conceitual sempre esteve situada dentro de uma perspectiva construtivista de aprendizagem, que valoriza o papel ativo e representacional do aprendiz. Esses estudos têm se caracterizado principalmente por uma abordagem cognitiva, cujo foco está na análise das estruturas mentais do indivíduo. Autores como Vosniadou (2007a) e Mason (2007) têm usado a metáfora da ““aquisição”, sugerida por Sfard (1998), para caracterizar a abordagem cognitiva à mudança conceitual. De acordo essa metáfora, o conhecimento é concebido como algo que existe dentro da cabeça e que pode se desenvolver e ser mudado. Uma vez adquirido, o conhecimento torna-se uma propriedade do indivíduo, podendo então ser aplicado, transferido para outras situações e compartilhado com outros sujeitos.

A metáfora da aquisição representa um forte pressuposto acerca da natureza da mente humana. Conforme Packer e Goicoechea (2000) observaram, não se trata de uma questão de natureza apenas epistemológica, mas também ontológica. Conforme apontou Sfard (1988), esta metáfora está tão fortemente arraigada em nossas mentes que é possível que nunca tivéssemos consciência da sua existência se uma abordagem alternativa não tivesse começado a se desenvolver. Na abordagem cognitiva, as informações ocupam um espaço na memória de longo-prazo do sujeito, onde elas são armazenadas e podem ser acessadas posteriormente para recuperação. Essa imagem da mente humana vê o processo de aprendizagem – ou aquisição de conhecimentos, de acordo com a metáfora – como um fenômeno estritamente individual. O indivíduo é normalmente estudado em isolamento, separado dos ruídos ou “efeitos confusos do social” (Mercer, 2007). Nesse sentido, o contexto social e cultural é visto como uma variável externa a ser controlada. Assim, não é surpreendente que grande parte da pesquisa em ensino de ciências tenha subjacente o pressuposto de que os processos psicológicos, no indivíduo, são disparados por variáveis externas (e.g. instrução formal).

Nessa perspectiva, a mudança conceitual é vista como uma modificação na estrutura conceitual do aprendiz. Os conceitos são vistos como entidades mentais, que habitam a mente

humana e formam estruturas conceituais mais complexas (ou, alternativamente, são formados por entidades mais elementares). Uma vez construída essa estrutura conceitual, o indivíduo a utiliza para dar sentido ao mundo, transferindo esse conhecimento para diferentes contextos. De fato, uma forma de avaliar se o indivíduo adquiriu o conhecimento desejado é verificar se esse indivíduo é capaz de utilizá-lo em um contexto não-familiar. Nesse sentido, a pesquisa em mudança conceitual é com frequência conduzida em laboratórios experimentais. Conforme Caravita e Halldén (1994) notaram, o uso de pré-testes e pós-testes, a análise de entrevistas clínicas e o exame de mapas conceituais são, em grande medida, procedimentos privilegiados nessa abordagem. Nesses estudos, a linguagem, produzida nos testes e entrevista, é vista como sendo um reflexo direto das representações mentais do indivíduo (Furberg & Arnseth, 2009). O principal parâmetro para avaliar o conhecimento do estudante é a sua aproximação com teorias e conceitos científicos (critério de precisão).

Tendo como pano de fundo a perspectiva cognitiva, a pesquisa em mudança conceitual se concentrou durante muito tempo em torno de dois problemas centrais: o problema representacional e o problema do mecanismo de mudança. O problema representacional se refere a como representar a estrutura conceitual na mente do indivíduo. Já o segundo problema, o do mecanismo de mudança, está relacionado às causas da mudança, i.e., aos fatores externos (contexto social e cultural) que facilitam a re-estruturação do conhecimento em sala de aula. No intuito de avançar nas pesquisas em mudança conceitual, Carey (1986) defendeu a colaboração entre a ciência cognitiva e a educação em ciências. Essas disciplinas se interessavam pelo mesmo fenômeno e poderiam somar forças complementares, trazendo elementos diferentes para a colaboração. Essa colaboração, no entanto, pressupunha certa divisão do trabalho. Na perspectiva de Carey (1986), o problema representacional seria resolvido pela ciência cognitiva, a partir de novos formalismos para representar a estrutura conceitual. Já o problema do mecanismo de mudança seria resolvido por ambas as disciplinas, já que são os educadores em ciências quem devem testar teorias sobre como efetivar a re-estruturação do conhecimento.

Em um número especial da *Human Development*, Hatano (1994) apresentou algumas diferenças entre as perspectivas ocidentais e japonesas sobre mudança conceitual. O autor discutiu o problema de como a mudança conceitual ocorre e afirmou que a pesquisa ocidental vê a mudança como sendo puramente individual. O autor afirmou que esses pesquisadores parecem acreditar que o aumento na quantidade de conhecimento adquirido automaticamente induz à re-estruturação, mas que nenhum deles jamais sugeriu que a mudança conceitual fosse induzida em atividades orientadas ou que a mudança poderia ser iniciada, facilitada ou

consolidada por processos sociais (e.g. discurso entre membros de um grupo). No final dos anos 90, Vosniadou (1999) fez um novo chamado de colaboração, agora entre a educação em ciências e a psicologia do desenvolvimento. A autora reconheceu que as pesquisas do desenvolvimento cognitivo estão primariamente interessadas nos processos mentais que supostamente ocorrem dentro da cabeça do indivíduo durante a atividade intelectual. Esses estudos não fornecem informação sobre as variáveis externas, ambientais, que podem ser manipuladas para facilitar a mudança conceitual. Assim, uma síntese entre o desenvolvimento cognitivo e a educação em ciências poderia resultar em uma teoria de aprendizagem que especificasse como ocorre a mudança conceitual e mostrasse como esse mecanismo está relacionado a fatores externos, ambientais.

Mais recentemente, Vosniadou (2007a) apresentou uma abordagem à mudança conceitual que considera fortemente a influência do contexto social e cultural no processo de aquisição e re-estruturação do conhecimento. Sua proposta está fundamentada na perspectiva da “cognição distribuída” de Hutchins (1995) e é uma resposta às críticas do que a autora tem chamado de “situacionismo radical” (Vosniadou, 1999). De acordo com a abordagem de Vosniadou (2007a), a unidade de análise da pesquisa em mudança conceitual é o indivíduo em interação construtiva com o mundo, através de uma variedade de estruturas simbólicas mediadoras, algumas internas e outras externas, em um rico cenário sociocultural. Essa aproximação é feita, no entanto, sem negar que o conhecimento pode ser representado de alguma forma no sistema de memória do aprendiz. Apesar de entidades mentais internas serem aceitas nesse referencial, os conceitos não devem ser vistos como sendo estáveis e imutáveis, mas sim como estruturas flexíveis, maleáveis e distribuídas. A partir dessa perspectiva, a teoria da mudança conceitual mantém a premissa construtivista de que o que já é conhecido pode ser radicalmente re-estruturado e que novas estruturas qualitativamente diferentes possam emergir. No entanto, o ensino de ciências deve considerar a aquisição de conhecimentos juntamente com processos sociais, tais como discussões em grupos, para que o estudante possa desenvolver uma consciência meta-conceitual e a habilidade de se engajar em uma aprendizagem intencional.

No outro lado da controvérsia, existe um grupo de pesquisadores que defendem uma imagem radicalmente diferente da cognição humana. Na perspectiva sociocultural, a mente é definida como sendo distribuída entre indivíduos e entre indivíduo e ferramentas culturais. O conhecimento não é visto como uma entidade na cabeça dos indivíduos, que pode ser adquirida, enriquecida ou mudada, mas sim como uma atividade que não pode ser considerada separadamente do contexto em que ela tem lugar (Mason, 2007). Na definição de Greeno,

Collins e Resnick (1996), a abordagem sociocultural é aquela que trata o conhecimento como um processo que ocorre entre os indivíduos, os artefatos e ferramentas que eles usam e as comunidades e práticas em que eles participam. A partir dessa perspectiva, conhecer significa pertencer, participar, comunicar (Mason, 2007).

Na pesquisa sociocultural, termos como “situado”, “embebido” e “distribuído” são amplamente utilizados. A aprendizagem é vista como um processo de “enculturação” nas práticas e discursos de uma comunidade (Driver, Asoko, Leach, Mortimer, & Scott, 1994). Os conceitos são vistos não como entidades mentais, mas como objetos culturais pertencentes ao terceiro mundo popperiano, i.e., como conhecimento no sentido objetivo (Wells, 2008). A metáfora que melhor representa a perspectiva sociocultural é a metáfora da “participação” (Sfard, 1998). De acordo com essa metáfora, a aprendizagem é o processo pelo qual o indivíduo se torna membro de uma comunidade e adquire a habilidade de se comunicar e agir de acordo com as normas dessa comunidade. A partir dessa perspectiva, a colaboração efetiva nas atividades do grupo contribui para a formação da identidade do indivíduo, que se reconhece como membro participante dessas atividades (Greeno, 1997).

A pesquisa em mudança conceitual tem uma longa tradição na psicologia cognitiva. Com algumas poucas exceções na literatura (Ivarsson et al., 2002; Säljö, 1999, Sfard, 2007), o processo de mudança conceitual tem sido descrito em termos da modificação daquilo que o sujeito já sabe, seguindo a metáfora da aquisição (Sfard, 1998). Mais recentemente, no entanto, a noção de mudança conceitual e outros termos relacionados, tais como “prática conceitual” (Krange, 2007), “mudança discursiva” (Wickman & Östman, 2002) e “culturando concepções” (Roth et al., 2008), têm (re)surgido na literatura como um tema de renovado interesse na pesquisa sociocultural. Diversos pesquisadores estão reconsiderando o problema da mudança conceitual a partir da perspectiva sociocultural (e.g. Furberg & Arnseth, 2009). Em um número especial da *Cultural Studies of Science Education*, Tobin (2008) promoveu um interessante debate entre a mudança conceitual e os estudos culturais na educação em ciências. Uma das principais questões envolvidas nesse acalorado debate era se essas duas perspectivas – mudança conceitual e teoria sociocultural – deveriam ser alternativas ou complementares (Roth, 2008; Treagust & Duit, 2008b). Em 2007, um fórum semelhante já havia sido promovido em um número especial da *Educational Psychologist* (Alexander, 2007; Maison, 2007; Mercer, 2007, Vosniadou, 2007a).

Um dos primeiros nomes a desafiar a abordagem cognitiva à mudança conceitual foi Hatano (1994). Ao discutir as perspectivas japonesas sobre o desenvolvimento cognitivo, o autor apresentou uma visão chamada “coletivismo”, que consiste numa perspectiva sobre o

pensamento e a aprendizagem que leva em consideração o contexto no qual essas atividades têm lugar. Na visão coletivista, processos como a solução de problemas, a compreensão e a aprendizagem são processos sociais, apesar de parecerem individuais. Isso porque eles se baseiam em conhecimentos e crenças que são compartilhadas entre os membros do grupo. Assim, a cognição é fortemente influenciada pela crença normativa do grupo, mesmo quando essa cognição é ativada por um indivíduo em isolamento. Na perspectiva do coletivismo, a “cognição coletiva” é considerada superior à cognição individual se partes do conhecimento distribuído entre o grupo puderem ser integrados, mesmo na ausência de um parceiro mais capaz, no sentido vygotskiano.

No final da década de 90, Säljö (1999) propôs uma alternativa ao que ele chamou de noção “mentalista” dos conceitos. O autor defendeu a tese de que os conceitos são “ferramentas para ação”, i.e., instrumentos que nos permite conduzir ações concretas em contextos sociais concretos e afirmou que a classificação conceitual é algo que deve ser argumentado. Para ilustrar a tese acima, o autor mostrou como o processo de categorização muda quando movemos de um contexto científico para um contexto sócio-político, em que líderes de países europeus disputam o direito de uso das regras de proteção de produtos domésticos para fixar taxas de importação a alimentos vindos de outros continentes. De acordo com o autor, países como Alemanha e Suécia protestaram fortemente, alegando que as bananas produzidas no sul da Europa não contavam como “bananas” porque não podiam ser comparadas às bananas amarelas, grandes e doces, vindas da América do Sul. Assim, ao situar os conceitos na linguagem e na comunicação, o autor concluiu que é mais adequado falar não de conceitos que os cientistas “têm”, mas de conceitos que os cientistas “usam” em práticas sociais e discursivas.

Ao propor uma abordagem sociocultural à mudança conceitual, Ivarsson et al. (2002) revisitaram estudos sobre as concepções alternativas de crianças acerca da forma da Terra. Dando continuidade à pesquisa de Schoultz, Säljö e Wyndhamn (2001) sobre o uso artefatos (um globo) no estudo de conceitos elementares de astronomia, os autores realizaram um estudo empírico sobre como as crianças interpretam mapas. Os resultados mostraram que as crianças apresentam raciocínios bastante complicados sobre a gravidade e a forma da Terra quando elas usam o mapa mundi como ferramenta mediacional. De acordo como os autores, nenhum dos participantes da pesquisa sugeriu que é possível “cair” da Terra. Do mesmo modo, nenhuma concepção da Terra como sendo plana, oca, achatada ou tendo qualquer uma das formas encontradas nos estudos de Vosniadou e Brewer (1992) foi detectada. Assim, ao invés de conceber a mudança conceitual como uma mudança em modelos mentais ou

estruturas cognitivas, os autores sugeriram considerar a mudança conceitual em termos de um crescente domínio de meios mediacionais, que servem como ferramentas poderosas para o pensamento e raciocínio.

Ao discutir a diversidade de termos utilizados na pesquisa em mudança conceitual (conceitos, concepções, modelos mentais, etc.), Sfard (2007) apontou a necessidade de se operacionalizar o vocabulário usado pelos pesquisadores e sugeriu uma reinterpretação para a noção de “conceito”, que ela considerou como sendo o termo-chave desse campo de estudo. Com base nas perspectivas teóricas de Vygotsky e de Wittgenstein, a autora combinou a definição vygotskiana de conceito – i.e., a palavra junto com seu significado – com a noção wittgensteiniana de significado, que é o uso da palavra na linguagem. Assim, a autora sugeriu que o termo conceito fosse interpretado como “a palavra junto com seu uso discursivo” (Sfard, 2007, p. 330, nossa tradução). Essa definição é bastante operacional uma vez que ela torna os conceitos acessíveis à inspeção pública. Assim, ao invés de conceber a mudança conceitual como uma mudança no conhecimento, a autora descreve esse construto em termos de uma mudança no discurso. Nada além do discurso inteiro deve constituir a unidade de análise. Desse modo, frases como “os estudantes estão assimilando novas informações ao seu conhecimento prévio sem realizar mudanças radicais” devem ser reinterpretado como “os estudantes estão incorporando novas palavras e símbolos em seu discurso atual sem introduzir qualquer mudança nesse discurso”.

Greeno e Sande (2007) propuseram uma “ponte” entre a perspectiva cognitiva e a abordagem sociocultural na mudança conceitual. De acordo com os autores, muitos dos esforços em construir uma ponte entre essas duas abordagens começam no lado cognitivo, e se estendem em direção ao lado sociocultural. Esses estudos consideram o conhecimento e a aprendizagem como processos que ocorrem nas mentes dos indivíduos e lançam hipóteses sobre como esses processos são facilitados por processos sociais. Nessa perspectiva, a interação social é considerada como parte do contexto da mudança conceitual, que ocorre sempre ao nível do indivíduo (e.g. Sinatra & Pintrich, 2003). Na proposta de Greeno e Sande (2007), a unidade de análise consiste em “sistemas de atividades”, dos quais os indivíduos são componentes participantes desses sistemas. O conhecimento é visto como sendo distribuído entre os indivíduos que interagem dentro do sistema e os sistemas materiais e informacionais que eles utilizam como recursos. Essa abordagem é ancorada, no lado sociocultural, pelos conceitos de participação e de cognição distribuída e, no lado cognitivo, pelo conceito de estrutura de informação. A estrutura de informação é reinterpretada como o conteúdo do conhecimento distribuído e das interações nos sistemas de atividade. A mudança conceitual

(ou crescimento conceitual, na terminologia dos autores) é vista como uma mudança na prática discursiva que sustenta um entendimento conceitual mais efetivo. Os autores também introduziram a noção de “entendimento perspectivo”. De acordo com essa noção, a cognição tem sempre um ponto de vista e o entendimento dos aspectos cognitivos de uma atividade requer que esses pontos de vistas sejam levados em consideração.

Em um artigo provocativo, publicado na *Cultural Studies of Science Education*, Roth et al. (2008) lançaram os primeiros princípios de uma abordagem cultural às concepções em ciências. A partir da análise de uma entrevista sobre como ocorrem os dias e as noites, os autores argumentaram que os participantes da entrevista se comunicam através da linguagem, que a linguagem é uma forma de cultura e que eles não agem independentemente um do outro, mas sim em colaboração um com o outro. Ao apontar o que alguns pesquisadores chamariam de concepções alternativas, os autores defenderam que as concepções são possíveis “formas de falar”, já existentes na linguagem, e o reconhecimento de sua realidade cultural elimina qualquer possibilidade de erradicá-las por meio da instrução. Além disso, os autores discutiram um fragmento da entrevista, no qual o entrevistador e o entrevistado usam suas mãos para representar (juntos e para o outro) o sistema Terra-Sol. Os autores argumentaram que é mais parcimonioso pressupor que o modelo do ciclo dia/noite é produzido durante a entrevista, em tempo real, a partir dos recursos disponíveis na situação. Partindo da constatação de que é possível falar sobre assuntos dos quais nunca pensamos sobre ou falamos anteriormente, os autores questionaram a necessidade de recorrer à noção de modelos mentais como a base (causa ou razão) para falarmos sobre fenômenos naturais.

2.3 Mudança conceitual: uma síntese

Nesse capítulo, revisamos diversos termos-chave que aparecem nos debates atuais sobre mudança conceitual. No intuito de delinear o panorama conceitual que tem estruturado esse debate, propusemos quatro distinções básicas para orientar o exame desse campo de estudos, a saber: (1) as abordagens “clássica” e “re-enquadrada”; (2) a controvérsia “coerência” *versus* “fragmentação”; (3) as tendências “frias” e “aquecidas”; (4) a divisão “cognitivo-situativo”. A primeira distinção se refere à demarcação que é usualmente feita entre ao modelo teórico de Posner et al. (1982), que dominou as pesquisas em educação em ciências por mais de uma década, e as abordagens contemporâneas à mudança conceitual, desenvolvidas principalmente no âmbito da psicologia da educação. A principal diferença entre elas está no fato de que, na abordagem clássica, a mudança conceitual é vista como uma

substituição de teorias. A controvérsia coerência *versus* fragmentação, por outro lado, está relacionada à como cientistas cognitivos concebem a estrutura do conhecimento intuitivo. Do lado da coerência, esse conhecimento é visto como sendo coerente, formando estruturas do tipo teorias. No lado da fragmentação, o conhecimento intuitivo é concebido como sendo constituído de múltiplos elementos quase independentes. Já as tendências frias e aquecidas da pesquisa em mudança conceitual separam estudos que consideram a aprendizagem como um processo puramente racional, de um lado, daqueles que incluem construtos motivacionais na pesquisa, tais como objetivos, interesses, auto-eficácia e controle, de outro. Finalmente a divisão cognitivo-situativo marca o debate entre a abordagem cognitiva à cognição humana, que caracteriza as pesquisas em psicologia, e a perspectiva sociocultural, que tem dominado as pesquisas em educação em ciências durante as últimas duas décadas. Enquanto a primeira se apóia firmemente na metáfora da “aquisição”, a segunda é mais bem entendida a partir da metáfora da “participação” (Sfard, 1998).

As quatro distinções básicas, mencionadas acima, são importantes porque elas podem evitar falsos desacordos e críticas infundadas nos debates contemporâneos sobre mudança conceitual. No artigo de Roth et al. (2008), por exemplo, o argumento de que a “inteligibilidade das concepções alternativas mina qualquer tentativa de erradicá-las completamente por meio da instrução” (op. cit., p. 234, nossa tradução), embora correto, é mal direcionado, tornando a tarefa de autores como Hewson (2008) e Vosniadou (2008a), de defender a abordagem cognitiva, fácil demais. Conforme apontou o primeiro autor, a imagem de mudança conceitual pintada por Roth et al. (2008) tem “alguns traços [que] são grotescas caricaturas que não tem lugar em artigos acadêmicos” (Hewson, 2008, p. 264, nossa tradução). Vosniadou (2008a), por sua vez, não pode fazer outra coisa senão concordar com uma série de questões levantadas por Roth et al. (2008) e comentar que “quando os autores falam sobre ‘mudança conceitual’, eles parecem se referir ao que é conhecido como a ‘abordagem clássica’ à mudança conceitual, conforme apresentada por Posner e seus colegas” (Vosniadou, 2008a, p. 278, nossa tradução). É nesse sentido que acreditamos que as quatro distinções básicas, aqui delineadas, podem ajudar a compreender os debates contemporâneos em mudança conceitual, além de contribuir para as pesquisas futuras.

É importante enfatizar que as distinções básicas delineadas no presente capítulo não devem ser interpretadas como categorias rígidas, que situam os diversos modelos de mudança conceitual em uma única e exclusiva abordagem. Em alguns casos, estas distinções devem ser entendidas mais em termos de tensões entre dois pólos. No contexto da divisão cognitivo-situativo, por exemplo, Vosniadou (2007a) tem apontado que a distinção usualmente feita

entre as abordagens cognitiva e sociocultural é muito polarizada e não representa visões atuais. No entanto, a autora prefere manter essa distinção a fim de explorar as vantagens e desvantagens de cada perspectiva. Assim, entendemos que as distinções básicas, propostas no presente capítulo, devem ser entendidas não como classificações estanques, mas sim como ferramentas analíticas para guiar a investigação. No próximo capítulo, será apresentado o referencial teórico que fundamenta o modelo de distribuição conceitual a ser delineado no capítulo 4. Usando a terminologia introduzida no presente capítulo, esse projeto se insere na divisão cognitivo-situativo e está situado no lado sociocultural do debate.

3 BASES TEÓRICAS PARA O ESTUDO DAS CONCEPÇÕES EM CIÊNCIAS

Este capítulo apresenta o quadro teórico que fundamenta nossas discussões acerca das concepções em ciências e do problema da mudança conceitual. Nosso modelo de distribuição conceitual, que será delineado no próximo capítulo, é um modelo teórico, desenvolvido para analisar a dinâmica das concepções no ensino de ciências a partir de uma perspectiva sociocultural. Conforme já mencionado no capítulo anterior, nossa proposta se insere na divisão cognitivo-situativo (ver seção 2.6) e está situado no lado sociocultural do debate. A tarefa de reconsiderar o problema da mudança conceitual a partir da teoria sociocultural é hoje uma das grandes tendências desse campo de estudo. Esse movimento surgiu a partir de pequenas contribuições de alguns autores em livros especializados sobre o tema (Ivarsson et al., 2002; Kelly & Green, 1998; Säljö, 1999; Sfard, 2007) e evoluiu para um intenso debate entre os proponentes de cada perspectiva (Alexander, 2007; Greeno & Sande, 2007; Hewson, 2008; Mercer, 2007; Roth, 2008; Roth et al., 2008; Smardon, 2008; Tiberghien, 2008, Treagust & Duit, 2008a, 2008b; Vosniadou 2007a, 2008a; Wells, 2008).

O objetivo desse capítulo é situar nosso modelo de distribuição conceitual dentro do grande guarda chuva que representa hoje o que é conhecido como perspectiva sociocultural. Inicialmente, esboçamos um breve histórico da abordagem sociocultural e de suas principais vertentes. Seguindo uma perspectiva neovygotskiana da psicologia do desenvolvimento (Lemke, 2001), apresentamos, a seguir, aspectos relevantes da teoria de Vygotsky (Vygotsky, 1978, 1981a, 1981b, 1987) para a pesquisa sociocultural, segundo a interpretação de Wertsch (1985, 1991). Finalmente, delineamos a análise sociocultural de Wertsch (1991, 1998b, 2002) e suas possíveis implicações para a educação em ciências (Pereira e Ostermann, 2012a) e para a pesquisa em mudança conceitual.

3.1 A proposta no âmbito da pesquisa sociocultural

A abordagem sociocultural é uma perspectiva teórica que busca dar primazia analítica aos aspectos sociais e culturais da atividade humana. Apesar de o termo “sociocultural” ter surgido na literatura há bastante tempo (e.g. Dewey, 1938), apenas recentemente ele passou a ser usado para designar uma abordagem ou um método. De fato, a perspectiva sociocultural representa hoje uma abordagem geral em ciências humanas (Wertsch, Río, & Alvarez, 1998). De acordo com Lemke (2001), adotar uma perspectiva sociocultural no ensino de ciências significa conceber a ciência, a educação em ciências e a pesquisa em educação em ciências como atividades sociais humanas, conduzidas dentro de quadros culturais e institucionais. Na

perspectiva de Wertsch (1998b), a principal tarefa da abordagem sociocultural consiste em compreender as relações entre os processos mentais humano e o contexto cultural, histórico e institucional no qual esses processos têm lugar.

De acordo com Wertsch et al. (1998), os antecedentes históricos da pesquisa sociocultural podem levar a vários caminhos. Embora alguns desses caminhos estejam interligados, muitos outros parecem ter se desenvolvido independentemente. Um importante precursor à pesquisa sociocultural pode ser encontrado na psicologia cultural, conforme delineada por Cole (1990). O autor traçou as origens da psicologia cultural até os trabalhos de Wilhelm Wundt (1832-1920), considerado por muitos como sendo o pai da psicologia. Wundt esboçou claramente o papel de uma versão da psicologia da cultura ao escrever a seguinte passagem.

No ano de 1860 tive a ideia de adicionar um tipo de superestrutura à psicologia experimental, a qual pela natureza dos seus objetivos e métodos tem que se restringir aos fatos da vida mental do indivíduo. Embora essa superestrutura seja destinada a se apoiar nas origens desses fatos, ela deve ultrapassá-los e ter como ponto de partida os fenômenos da vida social humana. Logo, isso me apareceu como a maior tarefa da psicologia, e de fato sua própria conclusão. (Wundt, como citado em Wertsch et al., 1998, p.14).

De acordo com Wertsch et al., (1998), esses comentários de Wundt são considerados por muitos como sendo os precursores dos esforços atuais em criar uma psicologia cultural. Entretanto, outras formulações da psicologia cultural podem ser encontradas nos trabalhos de autores como Shweder (1990) e Bruner (1990). Conforme Ribas e Moura (2006) têm apontado, Cole (1998) apresentou Shweder como representante de uma vertente oriunda da antropologia e das teorias da cultura norte americanas, enquanto que Bruner, por sua vez, foi apresentado como representante de uma vertente fortemente influenciada pela escola de pensamento russa. Apesar de compartilhar certos temas comuns, as diferentes formulações da psicologia cultural não apresentam uma visão unificada. O fato de que esses autores quase nunca citam um ao outro, ou até mesmo fontes comuns, mostra a diversidade de abordagens que caracterizam as discussões atuais sobre esse tópico (Wertsch, 1992).

Uma segunda fonte intelectual para a pesquisa sociocultural pode ser encontrada diretamente nos trabalhos de Lev S. Vygotsky. Apesar de Bruner (1990) e Cole (1998) se basearem nas ideias de Vygotsky para formular suas explicações sobre psicologia cultural, muitos trabalhos dessa disciplina não utilizam nada da tradição vygotskiana e, inversamente, estudos da tradição vygotskiana parecem não compreender nada da psicologia cultural (Wertsch et al., 1998). Apesar dos grandes avanços dos estudos socioculturais, muitas

questões ainda permanecem em aberto acerca de como isso aconteceu e se isso deve permanecer como está.

De acordo com Lemke (2001), perspectivas socioculturais em ciência e em educação em ciências, na sua forma contemporânea, derivam principalmente de desenvolvimentos nas ciências sociais e humanas a partir da década de 60¹². Diversas contribuições para os estudos da ciência surgiram a partir de pesquisas em sociologia da ciência (e.g. Latour, 1987), história da ciência (e.g. Shapin & Schaffer, 1985) e estudos etnocientíficos em antropologia cultural (e.g. Hutchins, 1980). Na educação em ciências, ou educação em geral, a perspectiva sociocultural passou a ser elaborada a partir de estudos em antropologia (e.g. Lave, 1988), em sociolinguística (e.g. Lemke, 1990) e em perspectivas neovygotskianas na psicologia do desenvolvimento (Cole, 1990; Rogoff, 1990; Wertsch 1991). Juntamente com as ciências sociais, a educação em ciências e os novos estudos da ciência em história e em sociologia sofreram uma “virada linguística” e passaram a examinar como as pessoas aprendem a falar e escrever a linguagem da ciência, além de aprender a se engajar significativa e cooperativamente em atividades sub-culturais específicas (Lemke, 2001).

De acordo com Mason (2007), o primeiro autor a defender a perspectiva “situativa” na psicologia da educação foi Greeno (1989)¹³. A autora também afirmou que a pesquisa em educação em ciências passou a desenvolver uma perspectiva sociocultural nos seus estudos quando pesquisadores, tais como Roth (1993), passaram a se nutrir de estudos em sociologia da ciência (e.g. Latour & Woolgar, 1986). Na pesquisa em mudança conceitual, a perspectiva sociocultural tem sido defendida a partir de diferentes fontes intelectuais. Cobern (1996), por exemplo, tem usado a noção de “visão de mundo”, importado da antropologia cultural. Outros autores, como Greeno e Sande (2007), têm se apoiado na noção de “cognição distribuída” de Hutchins (1995). Ivarsson et al. (2002), por sua vez, se fundamentaram no estudo da “ação mediada”, segundo a abordagem de Wertsch (1998b). Roth e seus colegas têm formulado suas posições a partir de análises culturais dentro da sociologia, da psicologia e da filosofia (Roth et al., 2008).

Tendo em vista as diversas fontes intelectuais para a pesquisa sociocultural, se faz necessário especificar que tipo de abordagem se tem em mente quando se utiliza o termo

¹² Uma descrição sobre como as iniciativas de promover uma síntese geral das abordagens cognitiva e sociocultural na psicologia do desenvolvimento foram frustradas na década de 80, quando pesquisadores passaram a ignorar fatores sociais, pode ser encontrada em Bruner (1990).

¹³ De acordo com Greeno e Sande (2007), a abordagem situativa é uma versão da perspectiva sociocultural. O termo “situativo” é usado para designar uma abordagem teórica distinta da “aprendizagem situada” ou da “cognição situada”, visto que, na definição de Greeno (1997), toda forma de aprendizagem e de conhecimento é situada por definição.

“sociocultural”. Nosso modelo de distribuição conceitual é fortemente baseado na análise sociocultural de Wertsch (1991, 1998, 2002) que, por sua vez, deriva da tradição russa de pesquisa, representada principalmente por autores como Vygotsky e Bakhtin. Sendo assim, nossa abordagem à mudança conceitual segue uma tradição neovygotskiana da psicologia do desenvolvimento, segundo a classificação usada por Lemke (2001). Na próxima seção, é apresentada uma síntese da teoria de L. S. Vygotsky (1978, 1981a, 1981b, 1987) como uma das fontes da pesquisa sociocultural. A seguir, delineamos as contribuições de Wertsch (1991, 1998) para a construção de uma abordagem sociocultural em ciências humanas.

3.2 O legado de L. S. Vygotsky

Conforme Wertsch e Tulviste (1992) têm apontado, nas últimas décadas tem havido um surto de interesse nas ideias do psicólogo e especialista em semiótica Lev Semenovitch Vygotsky (1896-1934), o qual tem se refletido no grande número de citações de suas obras. Embora as razões para esse movimento não estejam ainda totalmente claras, os autores identificaram quatro fatores que parecem ter desempenhado um importante papel: (1) a recente publicação (e republicação) da maioria dos textos originais de Vygotsky e a subsequente tradução desses textos para o inglês; (2) as trocas acadêmicas entre Estados Unidos e a antiga União Soviética e a imigração, para o ocidente, de vários psicólogos soviéticos capazes de lidar com esses textos com autoridade; (3) a relevância de suas ideias para questões em educação e em outros campos aplicados; (4) a busca por novos quadros teóricos no ocidente e a adequação das ideias de Vygotsky para muitas das questões que têm motivado essa busca (Wertsch & Tulviste, 1992, p. 548).

Apesar desse crescente interesse nas ideias de Vygotsky, muitas de suas afirmações não são amplamente compartilhadas, ou até mesmo entendidas, na psicologia contemporânea (Wertsch, 1991)¹⁴. Certamente, a falta de entendimento das ideias de Vygotsky não é uma questão de incompetência da parte dos pesquisadores. Grande parte dessa confusão tem sido gerada devido à pobre tradução dos textos de Vygotsky para o inglês (Wertsch, 1979). Na monografia *Myshlenie i Rich'*, traduzida originalmente como *Thought and Language (Pensamento e Linguagem)*, “rich” significa “speech” (fala), ao passo que “language”, em russo, se escreve “yazyk”. De modo similar, há uma distinção entre as palavras “Myshlenie” e “Mysl”. Em russo, *Mysl* significa *thought* (pensamento enquanto conteúdo das ideias), ao passo que *Myshlenie* significa *thinking* (pensamento enquanto ato de pensar). Com efeito, a

¹⁴ O mesmo deve valer para a educação e para o ensino de ciências.

tradução mais adequada para a monografia de Vygotsky seria *Thinking and Speech* (*Pensamento e Fala*, ou mais convenientemente, *O Pensar e o Falar*).

Esse problema foi posteriormente corrigido em uma nova tradução dessa obra para a língua inglesa (Vygotsky, 1987). Ao fazer essas duas correções, fica claro que Vygotsky estava primeiramente interessado nos aspectos dinâmicos da atividade humana, i.e., no modo com a linguagem é usada na interação social, e não em sistemas representacionais estáticos como a linguagem (Wertsch, 1979). Infelizmente, no Brasil, essa obra foi recentemente traduzida diretamente do russo para o português como *A Construção do Pensamento e da Linguagem* (Vigotski, 2001).

Um segundo problema, relacionado à falta de entendimento da teoria vygotskiana, está na incompatibilidade entre as visões de mundo do Ocidente e da antiga União Soviética acerca do funcionamento mental humano. Essa incompatibilidade envolve diferenças em pressupostos acerca de questões tais como o papel das forças sociais na formação do indivíduo (Wertsch, 1985, p. xiv). Como resultado, muitos dos conceitos utilizados por Vygotsky acabam adquirindo outros significados quando são transferidas inadvertidamente de uma tradição de pesquisa para outra, completamente distinta. A respeito desse fato, Wertsch (1999) prestou o seguinte depoimento no prefácio da edição castelhana de sua obra *Mind as Action* (Wertsch, 1998b).

Cheguei lá [em Moscou] como um típico "Ph.D." nos anos setenta. Eu estava interessado em saber o que estava acontecendo na União Soviética, especialmente na tradição de L. S. Vygotsky, mas eu encarei essa tarefa a partir da perspectiva que havia sido socializada nos Estados Unidos. Eu ainda me lembro que a primeira coisa que eu pensei foi que eu entendia o que era dito nas conferências e na literatura, e que era como se fazia nos Estados Unidos... só que muito antes. Porém, alguns meses mais tarde, eu comecei a duvidar dessa interpretação quando comecei a ter cada vez menos sucesso nas minhas tentativas de assimilar as idéias que eu encontrava ao quadro teórico que eu trazia [...] Os problemas que se consideravam relevantes eram simplesmente diferentes daqueles que eu havia enfrentado nos Estados Unidos, assim como as formas de raciocínio e as evidências que se consideravam convincentes. Toda esta forma de falar e de pensar sobre os problemas (ou seja, a linguagem social vygotskiana) era nova para mim, e eu precisei de tempo para reconhecê-la e, obviamente, para dominá-la. (Wertsch, 1999, p. 11, nossa tradução).

A interpretação da teoria de Vygotsky que será apresentada no presente trabalho está fortemente embasada no quadro teórico geral delineado por Wertsch (Cole & Wertsch, 1996; Wertsch, 1979, 1984, 1985, 1991, 2006; Wertsch & Stone, 1985). Nos anos 70, Wertsch realizou um ano de pós-doutorado em Moscou, onde trabalhou com grandes nomes da

psicologia soviética. Entre eles, se destacam dois ex-colaboradores de Vygotsky, Alexander R. Luria e Alexei N. Leontiev. A respeito desse encontro, Wertsch escreveu:

Meus encontros iniciais em Moscou com figuras como A. R. Luria, A. N. Leontiev, V. V. Davydov e V. P. Zinchenko nos anos 70 teve um impacto profundo em mim de todas as formas possíveis. Depois de me ajudar a superar um período inicial de confusão, e até mesmo resistência a idéias radicalmente novas, eles, juntamente com pessoas nos Estados Unidos, como Michael Cole, me levaram a apreciar o brilho das idéias de Lev Semenovitch Vygotsky. (Wertsch, 2002, p. 2, nossa tradução).

A apropriação de Wertsch da teoria vygotskiana (Wertsch 1985) está organizada a partir de “três temas gerais” que estão presentes em todas as obras de Vygotsky: (a) a confiança no método genético ou do desenvolvimento; (b) a tese de que as funções mentais superiores, no indivíduo, derivam da vida social; (c) a tese de que a atividade humana, tanto no plano social como no plano individual, é mediada por instrumentos e signos. Apesar de nossa síntese da teoria de Vygotsky não seguir exatamente essa mesma ordem, muito do que será exposto nas próximas páginas está diretamente relacionado com esses três temas gerais.

3.2.1 O papel central da mediação no funcionamento mental humano

De acordo com Wertsch (2006), a mediação é um tema que perpassa por todos os textos de Vygotsky. De fato, ela desempenha um papel tão fundamental em sua abordagem que Vygotsky chegou a afirmar que “o fato central de nossa psicologia é o fato da mediação” (Vygotsky, como citado em Wertsch, 1985, p. 15). A noção de mediação está envolvida na definição vygotskiana de “funções mentais humanas”. Dentre as funções estudadas pelo autor estão a percepção, a atenção, a memória e o pensamento. Segundo Wertsch et al. (1998), o termo “função” é compatível com a noção de “ação”, que se tornou o foco da psicologia soviética. Zinchenko (1985) vai ainda mais longe ao sugerir que a ação – e não o “significado da palavra” como o próprio Vygotsky (1987) havia assinalado – é a unidade de análise mais adequada para o referencial vygotskiano. Assim, ao adotar as interpretações de Wertsch et al. (1998) e de Zinchenko (1985) acerca das funções mentais humanas, fica claro que Vygotsky estava primeiramente preocupado com o “perceber”, com o “lembrar”, com o “pensar” e com outras formas de ação mental e não com entidades cognitivas como “esquemas”, “modelos mentais” ou demais categorias usadas na ciência cognitiva contemporânea¹⁵.

¹⁵ Essa distinção é importante porque acreditamos que a noção de “função mental” é uma possível fonte de confusão, principalmente porque ela é usada alternadamente com a expressão “processo mental”, mais familiar à psicologia cognitiva.

Vygotsky então traçou uma distinção fundamental entre “processos psicológicos elementares” e “funções psicológicas superiores” (Vygotsky, 1978)¹⁶. Conforme Cole (1985) tem apontado, essa distinção tem uma longa história na psicologia, surgindo da necessidade de separar os fenômenos psicológicos que podem ser encontrados tanto nos seres humanos como nos animais daqueles que são exclusivamente humanos. Usando a noção de mediação, Vygotsky propôs uma clara distinção entre as funções elementares e superiores.

A característica central das funções elementares é que elas são total e diretamente determinadas pela estimulação do ambiente. Para as funções superiores, a característica central é a estimulação autogerada, isto é, a criação e uso de estímulos artificiais que se tornam a causa imediata do comportamento. (ibid., p. 39, nossa tradução).

Com relação à memória, Vygotsky fez uma distinção entre “memória natural” e aquilo que ele chamou de “memória indireta”. De acordo com o autor, a primeira “é caracterizada pela impressão não mediada de materiais, pela retenção de experiências reais como a base dos traços mnemônicos (de memória)” (ibid., p. 38). Segundo Vygotsky, esse tipo de memória é bastante próximo à percepção, uma vez que ele surge da influência direta de estímulos externos sobre os seres humanos. Com relação à memória indireta (ou mediada), ele escreveu.

Mesmo tais operações comparativamente simples, como atar um nó ou marcar uma vara como um lembrete mudam a estrutura psicológica do processo de memória. Eles estendem a operação de memória para além das dimensões biológicas do sistema nervoso humano e a permite incorporar estímulos artificiais, ou autogerados, que chamamos de *signos*. (ibid., p. 39, itálico no original, nossa tradução).

Com relação à distinção acima, considere o seguinte exemplo contemporâneo: um professor de ciências combinou de emprestar um livro para um colega. Ao sair de casa, no entanto, ele se esqueceu de levar o livro consigo. Somente após encontrar seu colega na escola é que ele lembrou que deveria ter colocado o livro junto com seu material de trabalho. Este é claramente um caso de memória direta ou imediata, uma vez que foi a estimulação visual do colega que causou a lembrança no professor. De fato, ele não teve controle algum sobre sua memória; a imagem do livro simplesmente apareceu em sua mente. No dia seguinte, no entanto, ele resolveu colocar um lembrete no seu telefone celular, programando-o para

¹⁶ Devido a diferenças nas traduções encontradas em Vygotsky (1978) e Wertsch (1985), usaremos ao longo desse trabalho os termos “mentais” e “psicológicos” de modo indiferenciado. Wertsch (op. cit.), no entanto, adverte que “*psychic*” (psíquico) é a tradução mais literal da palavra “*psikhicheskii*”, embora ele prefira usar o termo “*mental*” devido à conotação inadequada que a palavra *psychic* tem na língua inglesa. De acordo com Wertsch, os psicólogos russos tendem a usar o termo “*psikhologicheskii*” (psicológico) para se referir à “ciência da mente” e *psikhicheskii* para se referir ao “objeto de estudo” da psicologia (ibid., p. 234).

despertar minutos antes de ele sair de casa. Ao ouvir o toque do celular, ele se lembrou de levar o livro para a escola, podendo assim emprestá-lo para o seu colega. Nesse caso, a memória também resultou de uma estimulação ambiental (o toque do celular). No entanto, há uma diferença crucial: esse processo (lembrar-se do livro) resultou de um ato intencional. Através do uso de um modo de mediação (o celular), o professor passou a ter controle sobre sua própria memória. Ele passou a controlar não apenas o conteúdo da memória (o livro), mas também o instante exato de sua manifestação (minutos antes de ele sair de casa). Assim, os estímulos artificiais, ou signos, servem como meios auxiliares para os seres humanos influenciarem o próprio comportamento, bem como o comportamento de outros indivíduos (considere o caso alternativo, no qual o colega envia uma mensagem de texto para o professor, minutos antes de ele sair de casa, lembrando-o de levar o livro).

Apesar de Vygotsky ter formulado suas explicações acerca da mediação semiótica em conexão com a linguagem natural, sua lista de estímulos artificiais, ou modos de mediação, também inclui “vários sistemas de contagem, técnicas mnemônicas, sistemas de símbolo algébrico, obras de arte, a escrita, esquemas, diagramas, mapas e os desenhos mecânicos; todos os tipos de signos convencionais; e assim por diante” (Vygotsky, 1981b, p. 137, nossa tradução). Vygotsky comparou o uso de signos, na atividade psicológica, com o uso de instrumentos de trabalho na atividade laboral. Ele afirmou que “a invenção e uso de signos como meios auxiliares de resolver um dado problema psicológico (lembrar, comparar algo, relatar, escolher, assim por diante) é análoga à invenção e uso de ferramentas” (Vygotsky, 1978, p. 52, nossa tradução). Essa analogia se baseia na função mediadora que caracteriza tanto as ferramentas técnicas quanto os signos convencionais. Desse modo, os signos podem ser justificadamente chamados de “ferramentas psicológicas” (Vygotsky, 1981b). Apesar da analogia entre signos e instrumentos, Vygotsky apontou uma importante diferença entre essas duas categorias, que resulta do modo como essas duas formas de mediação orientam o comportamento humano. No caso das ferramentas técnicas, elas servem de condutor da influência humana sobre os objetos da atividade. O signo, por sua vez, é o meio da atividade interna destinado ao domínio do próprio indivíduo (Vygotsky, 1978). Em suma, enquanto que o uso de ferramentas é orientado externamente, o uso dos signos é orientado internamente (i.e., mentalmente).

Wertsch (1985) apontou duas propriedades fundamentais dos signos que precisam ser levadas em conta ao tentar entender a explicação vygotskiana das funções mentais superiores. A primeira delas consiste na afirmação de que:

por ser incluída no processo do comportamento, a ferramenta psicológica altera todo o fluxo e a estrutura das funções mentais. Ela faz isso determinando a estrutura de um novo ato instrumental, assim como as ferramentas técnicas alteram o processo de adaptação natural ao determinar as formas de operações laborais. (Vygotsky, 1981b, p. 137, nossa tradução).

Isto significa que as ferramentas psicológicas, ou signos, não facilitam simplesmente uma função mental pré-existente, enquanto as deixam qualitativamente inalterada. Pelo contrário, a introdução do signo na função mental causa uma transformação fundamental nessa função. Isso implica considerar o desenvolvimento das funções mentais superiores não em termos de incrementos quantitativos, mas sim em termos de mudanças qualitativas (transformações revolucionárias), que estão associadas com mudanças das ferramentas psicológicas (Wertsch, 1985).

Uma segunda propriedade fundamental dos signos, segundo Wertsch (1985), é a sua natureza social. Nas palavras de Vygotsky: “pela sua natureza, eles são sociais e não dispositivos orgânicos ou individuais” (Vygotsky, 1981b, p. 137, nossa tradução). De acordo com Wertsch (1985), há dois sentidos nos quais os signos são considerados de natureza social. Em um primeiro sentido, o uso do termo social significa que as ferramentas psicológicas são tipicamente usadas em processos interpsicológicos (i.e., entre indivíduos). De acordo com Vygotsky, “o signo é um meio de interação social e apenas mais tarde se torna um meio de comportamento para o indivíduo” (Vygotsky, 1981, p. 158, nossa tradução). Em um segundo sentido, os signos são considerados sociais porque eles são o produto do desenvolvimento histórico. Isto significa que os signos não são inventados por cada indivíduo que os utilizam, nem descobertos na interação independente dos indivíduos com a natureza. Ao contrário, eles fazem parte do contexto sociocultural em que os indivíduos estão imersos.

Ao explicar o conceito de mediação na abordagem vygotskiana, Wertsch (2006) fez uma distinção entre o que ele chamou de “mediação explícita” e “mediação implícita”. No primeiro caso, a mediação é considerada explícita porque o indivíduo, ou outra pessoa orientando esse indivíduo, normalmente introduz aberta e intencionalmente um “estímulo-meio” no fluxo da atividade em andamento. Nesses casos, a materialidade do estímulo-meio envolvido tende a ser óbvia e não transitória. A mediação implícita, por sua vez, é caracterizada por envolver signos, especialmente a linguagem natural, cuja função primordial é a comunicação. Nesses casos, os signos não são introduzidos intencionalmente na ação humana, nem surgem com o propósito de organizá-la. Ao contrário, eles já fazem parte da ação comunicativa pré-existente de modo que sua materialidade tende a ser menos óbvia e, portanto, mais difícil de detectar. Em virtude de sua natureza efêmera, de materialidade

transitória, essa forma de mediação torna-se “transparente” e, portanto, tende a ser mais dificilmente tomada como objeto de reflexão consciente e de manipulação.

3.2.2 A formação social da mente

Uma das mais importantes teses formuladas por Vygotsky é a afirmação de que as funções psicológicas superiores, no indivíduo, derivam da vida social. Essa tese aparece formulada na sua famosa “lei genética geral do desenvolvimento cultural”, extraída do texto *The Genesis of Higher Mental Functions*¹⁷.

Qualquer função no desenvolvimento cultural da criança aparece duas vezes, ou em dois planos. Primeiro ela aparece no plano social, e então no plano psicológico. Primeiro ela aparece entre pessoas como uma categoria interpsicológica, e então dentro da criança como uma categoria intrapsicológica. Isso é igualmente verdade com relação à atenção voluntária, à memória lógica, à formação de conceitos e ao desenvolvimento da volição. (Vygotsky, 1981a, p. 163, nossa tradução).

Conforme Wertsch (1985, 1991) tem alertado, a lei genética de Vygotsky implica duas afirmações básicas que não são muito compartilhadas, ou até mesmo entendidas, no cenário da psicologia contemporânea ocidental. A primeira delas diz respeito à própria definição das funções mentais superiores. Essa definição difere bastante daquilo que os psicólogos contemporâneos normalmente têm em mente quando usam esse termo. Mais especificamente, a lei genética geral do desenvolvimento cultural assume que termos como cognição, memória e atenção podem ser apropriadamente atribuídos tanto a grupos como a indivíduos. Essa definição contrasta com o pressuposto individualista, que assume automaticamente que tais funções mentais ocorrem exclusivamente dentro do indivíduo. Tal pressuposto, subjacente a maior parte da pesquisa em psicologia contemporânea, se reflete no emprego de certos modificadores para expressar processos conduzidos no plano social, tais como cognição *distribuída* (Hutchins, 1991) ou memória *coletiva* (Middleton, 1987).

Para ilustrar o tipo de fenômeno que Vygotsky parecia ter em mente ao falar de processos interpsicológicos, ou intermentais¹⁸, considere o seguinte exemplo fornecido por Tharp e Gallimore:

¹⁷ No Brasil, não existe uma tradução do referido texto para o português. Uma versão simplificada dessa lei é encontrada em Vygotsky (1984).

¹⁸ De acordo com Wertsch (1985), “interpsíquico” é a tradução mais acurada para o termo *interpsikhicheskii*, embora ele prefira traduzir esse termo como “intermental” pelos motivos mencionados na nota 16. O mesmo raciocínio vale para a palavra *intrapsikhicheskii*.

Uma criança de 6 anos de idade perdeu um brinquedo e pede ajuda ao seu pai. O pai pergunta onde ela viu o brinquedo pela última vez; a criança responde “não consigo lembrar”. Ele faz uma série de perguntas – não está em seu quarto? Lá fora? No vizinho? Para cada pergunta, a criança responde “não”. Quando ele diz “no carro?”, ela responde “acho que sim” e sai para reaver seu brinquedo. (Tharp & Gallimore, 1988, p. 14, nossa tradução).

De acordo com Wertsch (1991), no exemplo citado acima não é possível responder a pergunta “quem lembrou?” apontando um ou outro indivíduo isoladamente. A criança obviamente não conseguiu lembrar onde havia deixado o brinquedo sem a ajuda do pai. Este, por sua vez, precisou da sinalização da criança (“acho que sim”) para parar de fazer novas perguntas. O que esse exemplo sugere é que a dupla enquanto “um sistema” realizou a função de lembrar no plano social. Esse mesmo tipo de raciocínio pode ser usado com relação a outras formas de função mental humana, tais como a construção de significados no plano social das aulas de ciências (Mortimer & Scott, 2002) ou a resolução colaborativa de problemas em atividades envolvendo simulação computacional (e.g. Pereira, Ostermann, & Cavalcanti, 2012).

Uma segunda implicação da lei genética geral do desenvolvimento cultural é a origem social das funções mentais superiores no indivíduo. De acordo com essa lei, os processos mentais surgem primeiramente *entre* pessoas, no plano intermental.

Qualquer função mental superior foi externa porque ela foi social em algum ponto antes de se tornar uma função interna, verdadeiramente mental. Ela foi antes uma relação social entre duas pessoas. Os meios de se influenciar alguém foram originalmente meios de influenciar os outros ou meios de outros de influenciar um indivíduo. (Vygotsky, 1981a, p. 162, nossa tradução).

Isso significa que tudo aquilo que o ser humano é capaz de realizar mentalmente foi, em algum ponto do desenvolvimento do indivíduo, realizado externamente, com a ajuda de outros sujeitos, através da interação social. Mesmo quando consideramos o caso de um autodidata, que aprende algo por si próprio lendo um livro, por exemplo, a própria leitura e interpretação do texto em questão são formas de ação mental que foram realizadas com a ajuda de outros indivíduos durante o seu processo de alfabetização. Assim, o pensamento verbal, por exemplo, pode ser considerado como sendo a transferência da fala para o nível interno, assim como a reflexão consciente pode ser considerado como sendo a transferência da argumentação para esse mesmo nível (Vygotsky, 1981a). Essa transição é normalmente formulada em termos da noção de *internalização*, definida como a reconstrução interna de uma operação externa (Vygotsky, 1978). Na perspectiva de Vygotsky, “todas as funções

mentais superiores são relações sociais internalizadas”, (Vygotsky, 1981a, p. 164, nossa tradução).

Conforme os textos de Leontiev têm alertado, o processo de internalização não é bem a transferência de uma atividade externa para um plano de consciência interno, pré-existente. Pelo contrário, a internalização representa “o processo no qual esse plano interno é *formado*” (Leont’ev, 1981, p. 57, itálico no original, nossa tradução). Nesse sentido, o título em português da obra *A Formação Social da Mente* (Vygotsky, 1984) deve ser interpretada de forma literal.

De acordo com Wertsch (1991), a lei genética geral do desenvolvimento cultural de Vygotsky faz uma afirmação muito mais forte do que simplesmente apontar que o funcionamento mental, no indivíduo, deriva da sua participação na vida social. Mais do que isso, essa lei afirma que a estrutura e os processos das funções intramentais podem ser rastreadas até seus precursores genéticos, no plano intermental. Nas palavras de Vygotsky, “[n]a sua esfera privada, os seres humanos retêm as funções da interação social” (Vygotsky, 1981a, p. 164, nossa tradução). Isso significa que as funções mentais superiores, no indivíduo, podem ser entendidas apenas examinando os processos sociais e culturais dos quais elas derivam. De acordo com Wertsch e Tulviste (1992) isso envolve uma estratégia analítica que pode parecer paradoxal à primeira vista, pois convida o pesquisador a começar a análise do funcionamento mental do indivíduo indo além (para fora) do próprio indivíduo. Isso não quer dizer que as funções mentais superiores no indivíduo sejam uma simples cópia de processos socialmente organizados. Como um corolário da sua lei genética geral do desenvolvimento cultural, Vygotsky afirmou que a “internalização transforma o processo em si e muda sua estrutura e suas funções” (Vygotsky, 1981a, p. 163, nossa tradução).

As ideias gerais de Vygotsky sobre as origens sociais das funções mentais superiores podem ser encontradas em conexão com a noção de *zona de desenvolvimento proximal*. De acordo com Vygotsky, a zona de desenvolvimento proximal é definida como sendo:

a distância entre o nível de desenvolvimento real [da criança], que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes” (Vygotsky, 1978, p. 86, itálico no original, nossa tradução).

Esse conceito foi utilizado por Vygotsky com a finalidade de avaliar a inteligência e de organizar o ensino. Com relação à avaliação da inteligência, ele argumentou que o nível de desenvolvimento potencial da criança é tão importante quanto (ou até mais importante que) o

nível de desenvolvimento atual. Já com relação à organização do ensino, ele concluiu que este deve estar mais próximo ao nível de desenvolvimento potencial da criança do que ao nível de desenvolvimento atual. As afirmações de Vygotsky sobre as origens sociais das funções mentais superiores também aparecem na sua explicação da fala egocêntrica. Para Vygotsky (1987), a fala egocêntrica é uma etapa da transição genética desde a fala social (i.e., comunicativa) até a fala interna.

3.2.3 O desenvolvimento das funções mentais superiores

Outra característica fundamental da abordagem de Vygotsky é seu “método genético”. Conforme Wertsch (1985) tem alertado, o termo *genético* se refere aos processos de desenvolvimento e nada tem a ver com genes, código genético ou outros termos relativos. Cole e Scribner (1994) têm apontado que embora Vygotsky tenha focado no desenvolvimento das funções mentais humanas, sua abordagem não deve ser confundida com as teorias tradicionais do desenvolvimento da criança. Hoje em dia, o termo “psicologia do desenvolvimento” é aplicado quase que exclusivamente à ontogênese, mais especificamente ao período da infância e da adolescência (Wertsch, 1993). Já a abordagem de Vygotsky leva em consideração “três linhas principais no desenvolvimento” (Vygotsky & Luria, 1993) no estudo dos processos mentais humanos (voltaremos a essa questão com mais detalhes no capítulo 4).

Na visão de Vygotsky, uma nova abordagem à psicologia deve necessariamente levar a novos métodos de investigação. Ele identificou uma estrutura do tipo estímulo-resposta nos estudos experimentais, tanto na psicologia introspectiva quanto na psicologia objetiva. A partir do exame detalhado dos métodos psicológicos de sua época, Vygotsky argumentou que “uma estrutura estímulo-resposta para a construção de observações experimentais *não* pode servir como base para o estudo adequado das formas superiores, especificamente humanas, de comportamento” (Vygotsky, 1978, p. 79, ênfase no original). Com base no materialismo dialético de Engels, Vygotsky propôs três princípios, que formam a base de sua abordagem na análise das funções mentais superiores.

O primeiro princípio consiste na *análise de processos e não de objetos*. Isso implica analisar a dinâmica dos principais pontos constituintes da história dos processos ao invés de tratá-los como objetos estáveis e fixos (ibid., p. 81). O caminho da evolução psicológica desses processos é marcado por diferentes “pontos de viragem” (Vygotsky & Luria, 1993). O segundo princípio do método genético consiste na *análise explicativa e não descritiva*, i.e., na

análise que revela as relações dinâmicas reais em oposição à enumeração das características externas de um processo. A respeito disso, Vygotsky fez uma distinção entre análises fenotípicas e genotípicas.

K. Lewin contrastou a análise fenomenológica, que é baseada nas características externas (fenótipos), com aquilo que ele chama de análise genotípica, em que um fenômeno é explicado com base em sua origem ao invés de sua aparência exterior. A diferença entre esses dois pontos de vista pode ser elucidada por qualquer exemplo biológico [...] Seguindo Lewin, podemos aplicar essa distinção entre os pontos de vista fenotípico (descritivo) e genotípico (explicativo) à psicologia. Por estudo desenvolvimental de um problema, me refiro à divulgação de sua gênese, sua base dinâmica causal. Por fenotípico, me refiro à análise que começa diretamente com as características atuais e manifestações do objeto. (Vygotsky, 1978, p. 62, nossa tradução).

O terceiro princípio do método genético de Vygotsky diz respeito ao *problema do comportamento fossilizado*. Esse problema se refere aos processos que esmaeceram ao longo do tempo, quer dizer, que passaram através de um estágio bastante longo do desenvolvimento histórico e tornaram-se fossilizados (ibid., 84). Essas formas fossilizadas de comportamento são facilmente encontradas naqueles processos mentais automatizados que, devido às suas origens remotas, estão sendo repetidos pela enésima vez e tornaram-se mecanizados. Assim, o pesquisador é forçado a alterar esse caráter automático das formas superiores de comportamento, fazendo-as retornar à origem através do experimento. O terceiro princípio do método genético consiste, portanto, na análise não do produto do desenvolvimento, mas do próprio processo, que reconstrói todos os pontos e faz retornar à origem do desenvolvimento.

Para Vygotsky, o método genético não é apenas um adendo à psicologia experimental, mas sim o método fundamental da ciência psicológica (Cole & Scribner, 1978, p. 9). A centralidade desse método é evidenciada no seguinte trecho escrito por Vygotsky.

Estudar alguma coisa historicamente significa estudá-la no processo de mudança: esse é a exigência básica do método dialético. Para englobar na pesquisa o processo de desenvolvimento de uma dada coisa, em todas as suas fases e mudanças – do nascimento à morte – significa, fundamentalmente, descobrir sua natureza, sua essência, pois “é somente em movimento que um corpo mostra o que é”. Assim, o estudo histórico do comportamento não é um aspecto auxiliar do estudo teórico, mas, ao invés disso, forma sua própria base (Vygotsky, 1978, pp. 64-65, aspas no original).

De acordo com Wertsch (1991), o método genético é motivado pelo pressuposto de que só é possível entender muitos aspectos do funcionamento mental humano a partir do entendimento de suas origens e das transições pelas quais ele tem passado. Na síntese do autor (Wertsch, 1985, p. 56), o método genético pode ser resumido da seguinte maneira. Primeiro,

os processos mentais devem ser estudados utilizando-se a análise genética. Em segundo lugar, o desenvolvimento dos processos mentais humanos deve ser descrito em termos de mudanças qualitativas (revolucionárias), assim como em termos de incrementos quantitativos constantes. Em terceiro lugar, os principais pontos de transição no desenvolvimento envolvem mudanças nas formas de mediação utilizadas (instrumentos e signos). Em quarto lugar, diversas linhas de desenvolvimento, ou “domínios genéticos”, devem ser examinadas a fim de produzir uma completa descrição das funções mentais humanas. Finalmente, em quinto lugar, diferentes forças de desenvolvimento, cada qual com seu próprio conjunto de princípios explicativos, devem operar em diferentes domínios genéticos.

No caso da ontogênese, Vygotsky afirmou que múltiplas forças de desenvolvimento operam simultaneamente. Mais especificamente, ele defendeu que as linhas natural e cultural de desenvolvimento interagem para criar a dinâmica de mudança nesse domínio genético.

O crescimento da criança normal dentro da civilização normalmente envolve uma fusão com os processos orgânicos de maturação. Ambos os planos de desenvolvimento – o natural e o cultural – coincidem e se misturam um com o outro. As duas linhas de mudança interpenetram uma na outra e essencialmente formam uma linha única de formação sociobiológica da personalidade da criança. (Vygotsky, como citado em Wertsch, 1985, p. 41, nossa tradução)

Conforme Wertsch tem apontado (Wertsch, 1985, 1991), Vygotsky não forneceu uma definição concreta e detalhada dessas duas linhas de desenvolvimentos. Em particular, ele foi pouco claro com relação ao desenvolvimento natural. Além disso, Vygotsky (1987) defendeu a ideia de que o pensamento e a fala, no desenvolvimento da criança, têm raízes diferentes, de modo que é possível estabelecer no desenvolvimento da fala um estágio pré-intelectual, e no desenvolvimento do pensamento, um estágio pré-lingüístico – somente em um estágio posterior do desenvolvimento essas linhas se cruzariam, tornando o pensamento verbal e a fala racional. De acordo com Wertsch (1985), a afirmação de que essas duas linhas de desenvolvimento operam em isolamento durante as primeiras fases da ontogênese é uma questão em aberto, tendo vista recentes pesquisas sobre a infância. Conforme Wertsch (1991) tem sustentado, no entanto, alguma versão da dinâmica que Vygotsky imaginou entre as linhas de desenvolvimento natural e cultural é uma meta na psicologia do desenvolvimento que ainda não foi atingida adequadamente.

3.3 A análise sociocultural de James V. Wertsch

O quadro teórico delineado por James V. Wertsch (1947-), também conhecido como “análise sociocultural” (Wertsch, 1998b, 2002) ou “abordagem sociocultural à mente” (Wertsch, 1991) é uma tentativa de relacionar aspectos sociais e culturais ao funcionamento mental humano. Apesar de o termo *sociocultural* ser bastante difundido entre pesquisadores do ensino de ciências e amplamente utilizado em estudos com uma orientação mais social, a análise sociocultural de Wertsch difere substancialmente de outras abordagens, sobretudo com relação à ênfase dada à noção de “ação mediada”. Embora Wertsch seja frequentemente citado em estudos que utilizam como aporte teórico autores como Vygotsky e Bakhtin, sua verdadeira contribuição intelectual tem sido pouco apreciada como fundamentação teórica em pesquisas em educação em ciências, com exceção de alguns poucos trabalhos encontrados na literatura (Giordan, 2004, 2006; Ivarsson et al., 2002, Kirch, 2010; Polman & Pea, 2001).

Wertsch é o professor Marshall S. Snow¹⁹ de *Arts & Sciences* e diretor do programa *International and Area Studies* da Washington University em St. Louis, Estados Unidos. Além de ocupar o cargo de professor do Departamento de Antropologia, Wertsch também é professor afiliado no Departamento de Psicologia e no Departamento de Educação dessa mesma universidade. Wertsch graduou-se bacharel em Psicologia na Universidade de Illinois em Urbana e obteve seu título de Mestre em Educação na Northwestern University. Após se doutorar em Psicologia da Educação na Universidade de Chicago em 1975, Wertsch realizou um ano de pós-doutorado em Moscou. Suas pesquisas atuais investigam a formação da identidade e a memória coletiva nos Estados Unidos, assim como em países como Rússia, Estônia, República da Geórgia e outros que formavam a antiga União Soviética. Seu interesse está centrado em como as escolas e outras instituições do Estado são utilizadas para criar e manter a memória coletiva oficial.

A análise sociocultural de Wertsch tem suas raízes intelectuais na teoria de Vygotsky. O termo “sociocultural” é utilizado em reconhecimento a essa herança intelectual, ainda que Vygotsky, Luria, Leontiev e outros tenham utilizado o termo histórico-cultural para descrever o método utilizado em suas pesquisas. Wertsch et al., (1998), entretanto, têm defendido que o termo sociocultural resulta mais adequado uma vez que ele se refere à forma com que o legado de Vygotsky tem sido apropriado em debates contemporâneos em ciências humanas no Ocidente. Conforme já mencionamos na seção 3.2, Wertsch (1985, 1991) delineou a teoria de Vygotsky a partir de três temas gerais: o método genético, as origens sociais das funções

¹⁹ *The Marchall S. Snow professor* é uma cátedra da Washington University em honra a M. S. Snow (1842-1916), reitor da faculdade de *Arts & Sciences* por quase quarenta anos.

mentais e o papel da mediação. De acordo com Wertsch (1993), os estudos de tradição vygotskiana, conduzidos no ocidente, têm-se centrado em grande medida, no segundo desses três temas, especialmente no modo como ele se manifesta na zona de desenvolvimento proximal. A análise sociocultural de Wertsch (1998b), por sua vez, desloca o foco das origens sociais das funções mentais superiores para o terceiro tema relativo à mediação. Segundo Wertsch (1985), a mediação de instrumentos e signos é analiticamente mais interessante porque fornece a chave para se compreenderem as mudanças quantitativas e qualitativas no desenvolvimento, assim como a transição das formas de funcionamento interpsicológico em intrapsicológico.

Ao explicar e estender a teoria de Vygotsky, Wertsch recorreu às ideias de diversos outros teóricos, em especial, aos estudos de Mikhail M. Bakhtin (1981, 1984, 1986) sobre a “translinguística”. Wertsch utilizou as noções de “gêneros discursivos”, definidos como tipos de enunciados produzidos em situações típicas de comunicação verbal, e de “linguagens sociais”, relativas aos tipos de falante (Wertsch, 1991). O autor também fez uso da noção de “voz”, definida como o ponto de vista ou a perspectiva geral adotada pelo sujeito falante (Wertsch, 2002). Além das ideias de Bakhtin, Wertsch também se apoiou firmemente na análise “dramatística” de Kenneth Burke (1969), especialmente no que se refere às múltiplas perspectivas da ação humana (Wertsch, 1998b).

3.3.1 O papel da ação na análise sociocultural

De acordo com Wertsch, “a tarefa da análise sociocultural é entender como o funcionamento mental está relacionado ao contexto cultural, histórico e institucional” (Wertsch, 1998b, p. 3, nossa tradução). Essa relação, entre os processos mentais e o contexto sociocultural, levanta uma série de questões acerca de alguns pressupostos de fundo, a saber (Wertsch, 1998a): são os processos mentais que servem como ponto de partida para o estudo dos cenários socioculturais ou seria o contrário? A resposta a essa questão tem orientado, ao menos implicitamente, os trabalhos de representantes de diversas disciplinas e, conforme Wertsch (1998a, 1998b) tem alertado, essa pode não ser a formulação mais adequada.

Segundo Wertsch (1985), o individualismo metodológico que tem dominado as pesquisas em psicologia, principalmente nos Estados Unidos, tem como pressuposto a crença de que os fenômenos sociais e culturais poderão ser reduzidos a processos psicológicos quando os psicólogos chegarem a uma abordagem mais poderosa. O reducionismo social, adotado em sociologia e ciências sociais, por outro lado, pressupõe que os processos psicológicos derivam diretamente de fenômenos sociais. Essa formulação em termos de

“extremos opostos” tem caracterizado o que Cole e Wertsch (1996) se referiram como “antinomia indivíduo-sociedade”. Essa antinomia tende a estruturar o debate de tal modo que obriga os pesquisadores a adotar uma única posição e a negar a outra totalmente. Essa atitude, no entanto, recai sobre o fato de que há pouca fundamentação para decidir entre uma alternativa ou outra. Qualquer escolha, nesse caso, se deve muito mais a preferências pessoais ou a filiações disciplinares do que a algum tipo de critério racional (Wertsch et al., 1998).

Para evitar as armadilhas impostas pela antinomia indivíduo-sociedade, Wertsch sugeriu que os termos “indivíduos” e “sociedade”, ou “processos mentais” e “contexto sociocultural”, fossem pensados não como “entidades reais” que possuem algum tipo de existência independente, mas sim como “momentos” ou “elementos” de uma unidade de análise mais inclusiva, que seja capaz de descrever o modo como essas forças entram em contato dinâmico. Assim, um dos pressupostos fundamentais da análise sociocultural consiste na afirmação de que o que deve ser descrito e explicado é a “ação humana” (Wertsch, 1991). Da forma definida por Wertsch, a “ação pode ser externa assim como interna, e ela pode ser realizada por grupos, tanto pequenos e grandes, e por indivíduos” (Wertsch, 1998b, p. 23, nossa tradução). O fato de a noção de ação poder ser aplicada tanto a grupos quanto a indivíduos implica uma abordagem que vá além dos limites impostos pelo individualismo metodológico. Isto não quer dizer que a ação humana não envolva uma dimensão psicológica individual. Ela certamente envolve. A questão é que isso deve ser pensado como um “momento” da ação, e não como um processo separado que existe de algum modo em isolamento. Essa abordagem leva a uma revisão da análise sociocultural, ao afirmar que o seu objetivo “é explicar as relações entre a ação humana, por um lado, e as situações históricas, institucionais e culturais nas quais essa ação ocorre, por outro” (Wertsch et al., 1998, p. 19). Uma forma de ação humana de particular interesse para a análise sociocultural é a “ação mediada”. Ela consiste na unidade de análise mais adequada para o estudo do funcionamento humano (Wertsch, 1991, 1998a, 1998b). Isso porque a ação humana, incluindo a ação mental, tipicamente emprega “meios mediacionais”, ou “ferramentas culturais”, que estão disponíveis em um cenário sociocultural particular. Essas ferramentas culturais, tais como a linguagem e os instrumentos de trabalho, moldam a ação humana de maneira essencial. Como essas ferramentas culturais são fornecidas por um cenário sociocultural particular, a ação humana é inerentemente “situada” em um contexto social e cultural.

3.3.2 Propriedades da ação mediada

Uma importante propriedade da ação mediada é que ela se caracteriza por uma “tensão irreduzível” (Wertsch, 1998b) entre agentes e as ferramentas culturais que eles empregam. Essa formulação está no núcleo da análise sociocultural e nos obriga ir além do agente individual para explicar as forças que configuram a ação humana. Isto não quer dizer que as ferramentas culturais realizam a ação, o que implicaria uma espécie de “reduccionismo instrumental” (Wertsch, 2009). De acordo com essa metáfora, as ferramentas culturais são “ferramentas” e, portanto, precisam ser utilizadas por um agente ativo. Mesmo que seja produtivo em alguns momentos fazer uma distinção analítica entre agentes e ferramentas culturais, abstraindo esses elementos da ação, a relação existente entre eles resulta tão fundamental que é mais adequado falar de “agentes-agindo-com-ferramentas-culturais” do que simplesmente falar de indivíduos. Essa descrição permite formular uma resposta mais adequada para a pergunta “quem está realizando a ação?” ou, no caso do discurso, “quem está falando?” (Wertsch, 1991).

Para ilustrar o tipo de fenômeno que Wertsch tem em mente, considere o seguinte exemplo sobre a memória, apresentado pelo autor.

Um colega recentemente me pediu para recomendar um livro sobre um tema em particular. Eu sabia o livro que eu queria sugerir e até podia “vê-lo” na minha mente, no sentido de que eu podia dizer ao colega a sua cor e o seu tamanho aproximado. Além disso, eu podia citar o autor. Eu era incapaz, no entanto, de recordar o título do livro. Em virtude disso, eu usei uma ferramenta cultural que só surgiu em sua forma plena ao longo dos últimos anos, a Internet. Eu usei o meu computador do escritório para acessar a livraria Amazon.com, onde eu procurei o autor do livro em questão. Sua lista de livros apareceu na tela e eu fui capaz de reconhecer o título correto e recomendar ao meu colega o livro que eu pretendia. (Wertsch, 2002, p. 11, nossa tradução).

Do ponto de vista da ação mediada, uma questão fundamental, nesse caso, é: quem lembrou? À primeira vista, a resposta correta parece ser “o professor Wertsch”, uma vez que um agente ativo precisou estar envolvido para conduzir a busca na internet. No entanto, o autor, ao menos naquele momento, foi incapaz de lembrar por si próprio (i.e., sem a ajuda do site Amazon.com) o título do livro em questão. Tal observação parece sugerir que talvez o site Amazon.com deva receber os créditos pela lembrança. Entretanto, o site Amazon.com é incapaz de fornecer espontaneamente as informações que o professor estava tentando lembrar. Na perspectiva da ação mediada, ambos agente e ferramenta cultural estavam envolvidos num sistema de memória distribuída, de modo que a resposta mais adequada à questão formulada acima é: o professor Wertsch atuando junto com o Amazon.com.

Wertsch (1998b) forneceu outro exemplo relativo à matemática, uma área claramente qualificada como “mediação semiótica” (i.e., mediação baseada em signos). Um indivíduo (um estudante, por exemplo) é solicitado a multiplicar 343 por 822. Após realizar a multiplicação, ele encontra corretamente o resultado 281.946. Para justificar o número encontrado, ele então mostra seus cálculos, realizados mais ou menos da seguinte maneira:

$$\begin{array}{r}
 343 \\
 \times 822 \\
 \hline
 686 \\
 686 \\
 + 2744 \\
 \hline
 281.946
 \end{array}$$

Utilizando a mesma linha de raciocínio usado no exemplo anterior, se pode fazer a seguinte pergunta: quem realizou a multiplicação? Novamente, à primeira vista, a resposta correta parece ser “o estudante”. Mas teria sido realmente ele (o agente isolado) quem realizou a multiplicação? Para esclarecer esse ponto, considere que o mesmo sujeito seja solicitado a multiplicar 343 por 822 sem utilizar essa disposição vertical dos números (um número sobre o outro). Essa operação se tornaria muito mais difícil – e dependendo dos números envolvidos, até impossível – de realizar. Isso porque a maioria das pessoas instruídas é suficientemente hábil para multiplicar 2 por 3, 2 por 4, 8 por 2 e assim por diante, mas não para multiplicar 343 por 822 diretamente. A disposição vertical dos números permite reduzir um problema complexo em uma série de operações mais simples com as quais os agentes sabem lidar. Isto significa que “a organização espacial – ou sintaxe – dos números é, nesse caso, parte essencial de uma ferramenta cultural sem a qual não podemos resolver esse problema. Em um importante sentido, portanto, esta sintaxe realiza parte do pensamento” (Wertsch, 1998b, p. 29, nossa tradução).

A partir dessa perspectiva, a mente humana é vista como sendo “distribuída” entre agentes e as ferramentas culturais que eles empregam. Wertsch tomou emprestado de autores como Bateson (1972) e Geertz (1973) a noção de mente como algo que “se estende além da pele” (Wertsch, 1991, p. 27, nossa tradução). Assim, qualquer forma de ação resulta muito difícil, senão impossível, de se realizar se nela não estiver envolvida uma poderosa ferramenta cultural e um usuário habilidoso no seu manuseio. A natureza da ferramenta cultural e o uso específico que os agentes fazem dela podem variar consideravelmente. Ainda assim, ambas as partes são necessárias para a compreensão da ação humana.

Outra importante propriedade da ação mediada deriva dos escritos de Burke (1969) acerca do propósito da ação humana e sua relação com outros quatro elementos que servem como princípios geradores de sua investigação (ato, cena, agente e agência). De acordo com esse autor, “implícito nos conceitos de ato e agente está o conceito de propósito. Do mesmo modo, está implícito na agência, visto que ferramentas e métodos servem a um propósito” (Burke, 1969, p. 289, tradução nossa). Na perspectiva de Wertsch (1998b), a principal razão para se recorrer à noção de propósito é chamar a atenção para uma questão que tem sido pouco apreciada nos debates acadêmicos, mesmo quando noções como propósito ou objetivo são incluídas na análise: a ideia de que a ação humana serve a múltiplos objetivos simultâneos. Isto significa que a ação mediada dificilmente se organiza em torno de um objetivo único e facilmente identificável. Pelo contrário, ela costuma servir a vários propósitos, muitos dos quais podem estar em conflito um com o outro.

No caso da multiplicação, por exemplo, o objetivo de se multiplicar 343 por 822, na escola, é obter o resultado correto. Mas esse propósito imediato pode estar inserido em um quadro mais amplo, como, por exemplo, impressionar um público em particular (pais, professores ou colegas) ou superar um sentimento geral de fracasso escolar. Ainda assim, esses objetivos restringem a análise porque estão centrados em um ato único e porque sugerem que os objetivos da ação tenham alguma classe de realidade psicológica para o indivíduo. No entanto, quando se consideram as razões pelas quais a matemática é ensinada na escola, os objetivos envolvidos vão muito além dos esforços individuais de obter o resultado correto, e entram em cena temas que não podem ser reduzidos a processos psicológicos individuais.

Para incluir os objetivos da ação no estudo da ação mediada é necessário levar em conta o fato de que as ferramentas culturais servem a determinados propósitos. Se um professor pedisse aos seus alunos para multiplicarem 343 por 822 utilizando números romanos ao invés de números arábicos, os objetivos dos agentes entrariam em conflito com os recursos proporcionados pela ferramenta cultural utilizada, já que os propósitos originais dos números romanos não incluem a multiplicação. Na perspectiva de Wertsch (1998b), a ação mediada tem múltiplos objetivos simultâneos porque os objetivos do agente não se ajustam com precisão aos objetivos associados aos diferentes meios mediacionais. No caso específico da multiplicação, o objetivo de obter o resultado correto deve estar relacionado também aos aspectos concretos do contexto sociocultural em questão, como, por exemplo, o fato de a ação conduzir-se em uma situação prática do cotidiano, em uma tarefa escolar ou durante uma situação de exame.

Outra propriedade da ação mediada deriva dos escritos de Vygotsky acerca do método genético (Vygotsky, 1978; Vygotsky & Luria, 1993; Wertsch, 1985, 1991). Conforme já mencionamos na subseção 3.2.3, esse método é motivado pelo pressuposto de que para entender o funcionamento mental humano é preciso recorrer às suas origens e às transições pelas quais ele tem passado. Ainda que Vygotsky tenha focado a maior parte de sua pesquisa empírica na ontogênese, seu método é igualmente aplicável a outros domínios genéticos tais como à filogênese, à história sociocultural e a microgênese²⁰. Na perspectiva da análise sociocultural, a ação humana está sempre “situada” em um ou mais caminhos evolutivos. Essa afirmação é uma extensão da noção de que a ação humana é situada historicamente. Assim, para Wertsch (1998b), “desenvolvimento” é um termo que se aplica à categoria de ação mediada. Essa noção contrasta com outras abordagens que supõem que o que se desenvolve é a mente do indivíduo ou outros aspectos da ação, considerados em isolamento. Entre outros aspectos, a tese acima implica o fato de que os agentes, as ferramentas culturais e a irreduzível tensão entre eles têm sempre um passado peculiar e estão sempre em um constante processo de transformação.

Para ilustrar esse ponto, considere o seguinte exemplo relativo ao uso de tecnologias de informação e comunicação (TIC) nas aulas de ciências. Até poucas décadas atrás, determinados processos químicos, físicos e biológicos eram visualizados nas aulas de ciências somente através das imagens nos livros didáticos e dos desenhos esboçados, no quadro-negro, pelo professor. Atualmente, com a presença de computadores nas salas de aula e o desenvolvimento de softwares específicos para o ensino de ciências, esses mesmos processos podem ser visualizados a partir do uso de simulações computacionais, permitindo que os estudantes interajam com o sistema a ser estudado. Uma questão pertinente, nesse caso, é: o que evoluiu exatamente? A explicação do desenvolvimento das aulas de ciências não pode ter como base somente os níveis de inteligência ou habilidade dos professores. Além disso, os professores de ciências, familiarizados com as novas tecnologias, podem ter um tipo de inteligência que é muito útil e valiosa no contexto da simulação computacional, mas que não atenderia às necessidades de uma sala de aula tradicional, e vice-versa.

O problema é que, ao avaliarmos indivíduos em um determinado caminho evolutivo, somos tentados a concebê-los como possuidores de algum tipo de atributo abstrato, como inteligência geral, independentemente de qualquer contexto proporcionado pela ação mediada. O que o exemplo acima sugere é que inteligência é um termo que se aplica ao “sistema”

²⁰ A microgênese refere-se à formação, a curto prazo, de determinados processos psicológicos, normalmente observados durante a realização de uma tarefa específica.

criado pela tensão irreduzível entre os agentes e as ferramentas culturais. Isso não significa que não exista algo que se possa chamar de inteligência geral, que diferencie um indivíduo de outro. No entanto, do ponto de vista da ação mediada, as diferenças encontradas entre indivíduos (ou grupos de indivíduos) devem ser entendidas mais em termos da experiência particular dos agentes com um conjunto específico de ferramentas culturais do que em termos de capacidades gerais, independentes da ação mediada.

3.3.3 Uma análise das ferramentas culturais

Ao examinar as propriedades da ação mediada, Wertsch (1998b) delineou cinco formulações que estão diretamente relacionadas com as características das ferramentas culturais. A primeira delas é a afirmação de que as ferramentas culturais são materiais. Embora a materialidade de itens como computadores, livros e calculadoras seja bastante evidente (já que constituem objetos físicos que se pode tocar e manipular), essa mesma propriedade resulta menos óbvia quando consideramos meios mediacionais semióticos, tais como a linguagem. Embora a linguagem escrita continue existindo no tempo e no espaço, mesmo quando ela não é utilizada como ferramenta cultural (como um texto de um livro guardado na estante), a linguagem falada, ao contrário, parece desaparecer no ar logo após sua produção, exceto nos raros casos em que a fala de alguém é gravada. A instantaneidade com que se manifesta a linguagem falada torna sua dimensão material menos perceptível, mas, nem por isso, devemos considerá-la menos real. A materialidade é uma característica de todos os meios mediacionais e essa propriedade implica o fato de que as ferramentas culturais podem causar modificações nos agentes. O desenvolvimento de habilidades necessárias para lidar com as ferramentas culturais surge na medida em que os agentes atuam com as propriedades materiais dessas ferramentas.

A segunda formulação é a afirmação de que as ferramentas culturais restringem ao mesmo tempo em que possibilitam a ação. De acordo com Wertsch (1998b), os estudos em psicologia tendem a centrar-se no potencial dos meios mediacionais para facilitar a ação humana. Vygotsky (1978, 1987), por exemplo, descreveu o modo como o desenvolvimento da linguagem na ontogênese oferece novas possibilidades de consciência humana. As teorias sobre desenvolvimento cognitivo têm formulado seus estudos em termos de como sofisticadas formas de mediação – frequentemente descritas em termo de “representações” – possibilitam formas de operações mais complexas (Wertsch, 1985). Apesar da relevância desses estudos, uma análise centrada somente nos recursos que as ferramentas culturais proporcionam fornece

apenas uma imagem parcial. A ideia geral é a de que, mesmo quando uma ferramenta cultural liberta os agentes de algumas limitações prévias, ela introduz outras novas que lhe são próprias. Essas novas restrições geralmente são reconhecidas em retrospecto. Por exemplo, a introdução da *internet* discada no contexto escolar durante a década de 1990 representou um avanço no que diz respeito ao rápido acesso à informação. Professores e estudantes passaram a dispor de textos de apoio, imagens, vídeos, simulações e outros recursos que não faziam parte do acervo da biblioteca da escola. No entanto, com o surgimento da banda-larga, na década seguinte, o acesso a esses recursos tornou-se muito mais eficiente, especialmente com relação à taxa de transferência de dados. Até o surgimento da banda-larga, a maioria dos usuários não tinha consciência das restrições associadas à *internet* discada. Esse exemplo mostra como as ferramentas culturais são utilizadas, de um modo geral, com pouca ou nenhuma reflexão consciente por parte dos agentes.

A terceira formulação de Wertsch (1998b) consiste na afirmação de que novas ferramentas culturais transformam a ação mediada. Essa propriedade deriva dos escritos de Vygotsky (1981b) acerca do método instrumental em psicologia. Conforme já vimos na seção 3.2.1, Vygotsky afirmou que, ao ser inserido no processo do comportamento, o instrumento psicológico altera todo o fluxo e a estrutura das funções mentais (Vygotsky, 1981b, p. 137). De acordo com essa formulação, o instrumento psicológico não facilita, simplesmente, uma função mental já existente. Ao invés disso, ele causa uma transformação fundamental nessas funções (Wertsch, 1985). Assim, na perspectiva da ação mediada, a introdução de uma nova ferramenta cultural “cria um tipo de desequilíbrio na organização sistemática da ação mediada, um desequilíbrio que desencadeia mudanças em outros elementos tais como o agente e na ação mediada em geral” (Wertsch, 1988b, p. 43, nossa tradução). Isto não significa que a única forma de introduzir mudanças seja através de novas ferramentas culturais. Em muitos casos, as mudanças podem ser atribuídas a diferentes níveis de habilidade ou outros aspectos relacionados aos agentes. Ainda assim, as dinâmicas de mudança causadas pela introdução de uma nova ferramenta cultural na ação mediada são normalmente bastante poderosas e costumam passar facilmente despercebidas. Esse aspecto pode ser exemplificado pela polêmica acerca do uso de calculadoras no ensino de ciências. Muitos professores de física e matemática, por exemplo, proibem seus alunos de utilizarem a calculadora durante os exames. Embora eles raramente formulem nesses termos, a razão pela qual o uso dessa ferramenta cultural é proibido resulta do fato de que a calculadora não facilita simplesmente as operações matemáticas, mas as transforma em uma forma de ação consideravelmente diferente.

Uma quarta formulação para a análise sociocultural é a afirmação de que as ferramentas culturais são, com frequência, produzidas por razões outras que não a facilitação da ação. Essa afirmação contrasta com a concepção na qual os meios mediacionais surgem em respostas às necessidades dos agentes. Por exemplo, a tecnologia usada nos computadores não surgiu como consequência do avanço no campo da pesquisa em educação em ciências. Os primeiros computadores de mesa, desenvolvidos na década de 1970, foram projetados para operacionalizar o fluxo de caixa nas empresas por meio de uma planilha eletrônica. Do ponto de vista da ação mediada, a aplicação dessa tecnologia no ensino de ciências é um “efeito colateral”, ou seja, um acidente que teve o potencial não antecipado de transformar a ação mediada. Em alguns casos, as ferramentas culturais são produzidas com a finalidade de obstruir o desempenho dos agentes. Para ilustrar esse aspecto, Wertsch (1991, 1998b) apresentou um exemplo relativo ao surgimento dos teclados para processadores de texto. De acordo com o autor, o teclado universal QWERTY, encontrado atualmente em computadores, foi projetado na década de 1960 com a finalidade de reduzir a velocidade de digitação dos datilógrafos. Essa exigência surgiu em função das antigas máquinas de escrever, que travavam as teclas quando pressionadas rapidamente. Em virtude disso, as letras foram distribuídas no teclado de modo que os datilógrafos se vissem forçados a utilizar a mão esquerda durante a maior parte do tempo, além de inserir outros inconvenientes adicionais. Apesar das razões originais para se utilizar o teclado QWERTY terem desaparecido, esse modelo continua sendo o mais utilizado atualmente nos computadores. Esse exemplo mostra como as forças históricas e econômicas podem estar envolvidas no processo de padronização das ferramentas culturais utilizadas.

Outra importante formulação da análise sociocultural consiste na afirmação de que as ferramentas culturais estão associadas ao poder e à autoridade. Essa afirmação contrasta com a concepção na qual a linguagem e outros meios mediacionais constituem instrumentos neutros de pensamento e comunicação. Essa propriedade deriva dos escritos de Bakhtin (1981) sobre sua formulação acerca dos tipos de discurso “autoritário” e “internamente persuasivo”. O pressuposto geral é o de que o poder e a autoridade não são atributos do indivíduo, considerado em isolamento, mas sim da tensão irreduzível entre os agentes e as ferramentas culturais. Para ilustrar esse ponto, segue abaixo um exemplo sobre um episódio de ensino analisado por Wertsch (1991), relatado por Hatano e Inagaki (1991), envolvendo alunos de terceira e quarta série de uma escola pública dos Estados Unidos. Nesse episódio, o professor suspendeu uma bola de argila em uma mola e perguntou aos alunos o que aconteceria com o sistema se ele fosse colocado dentro de um recipiente com água. Ao

debater sobre o assunto, alguns alunos sustentavam que a mola deveria distender, até que Ian, um aluno da quarta série, fez o seguinte pronunciamento: “mesmo que ela esteja suspensa, mesmo que você coloque espaço em torno dela, ela subiria. Quer dizer, é uma atmosfera diferente para mudar. Quer dizer, você poderia colocar lava em torno dela, ou fogo em torno dela, ela não faria coisa alguma” (Wertsch, 1991, p. 137, tradução nossa). É interessante notar que o argumento de Ian tem pouca relação com os processos físicos ali envolvidos. Ainda assim, esse discurso teve um efeito poderoso sobre o restante do grupo, uma vez que muitos dos seus colegas mudaram de opinião e passaram a afirmar que a mola deveria contrair. Uma questão fundamental, nesse caso, é: qual foi a fonte de autoridade nesse contexto? Ainda que Ian gozasse de boa reputação como estudante, ele não se limitou a escolher uma alternativa, deixando que sua reputação fizesse o restante do trabalho. Pelo contrário, ele se apropriou de fragmentos do gênero discursivo da “ciência oficial” com a finalidade de persuadir seus colegas. O uso de palavras como atmosfera, lava e fogo foi determinante nesse processo, especialmente porque nenhum de seus colegas recorreu a esses termos científicos.

3.3.4 A relação agente-ferramenta cultural

Para caracterizar o modo como os agentes usam (ou consomem) as ferramentas culturais, Wertsch (1998b) focou em como o uso de meios mediacionais particulares leva ao desenvolvimento de habilidades específicas, mais do que ao desenvolvimento de capacidades ou aptidões gerais. Assim, para compreender as formas de ação que um indivíduo pode realizar, é necessário examinar a história de encontros reais desse indivíduo com ferramentas culturais materiais. A análise desses encontros na ontogênese é, com frequência, formulada em termos da noção de “internalização”. De acordo com Wertsch (1998b), esse termo pode ser bastante enganoso porque ele encoraja a busca de conceitos internos, regras e outras entidades psíquicas bastante suspeitas, segundo a apreciação de Wittgenstein (1972). Além disso, o termo internalização também sugere uma polarização ou oposição extrema entre processos externos e internos. Em função disso, Wertsch (1998b) esboçou dois significados que ele considera adequado ao termo internalização, quando aplicado à ação mediada.

Wertsch (1993, 1995) tem defendido que o termo internalização deveria ser substituído por “domínio”. A noção de domínio refere-se ao saber como utilizar uma ferramenta cultural com certa facilidade. Nessa perspectiva, a ênfase está em “saber como” ao invés de estar no “saber o que” (Wertsch, 2002). Segundo o autor, a noção de domínio possui importantes vantagens com relação à noção mais geral de internalização. Isso porque essa

última evoca uma imagem na qual os processos realizados inicialmente em um plano externo passam a ser realizados em uma espécie de plano interno. Tal imagem é encorajada por análises como a de Vygotsky (1978) sobre como a ação de contar ocorre originalmente no plano externo, com a ajuda dos dedos, para, posteriormente, sumir de vista, quando o processo é internalizado. De acordo com o autor, muitas formas de ação mediada são (e devem ser) realizadas no plano externo. Por exemplo, no caso do uso de simulações computacionais no ensino de ciências, não está claro o que significa realizar esse tipo de ação em um plano interno. Mesmo no exemplo da multiplicação, é pouco provável que a operação como um todo seja completamente internalizada. Dependendo dos números envolvidos, tal operação requer uma ferramenta cultural que “realize parte do pensamento”. Assim, a metáfora da internalização resulta demasiadamente forte porque implica algo que frequentemente não ocorre. A noção de domínio, por outro lado, é mais adequada, uma vez que ela é aplicável a praticamente todas as formas de ação mediada.

Um segundo significado possível para o termo internalização, segundo Wertsch, é a noção de “apropriação” (Wertsch, 1998b). Esse termo deriva dos escritos de Bakhtin (1981) e refere-se ao processo pelo qual os agentes tomam a palavra emprestado de outros e o tornam próprio. Com relação à apropriação, Bakhtin afirma que nem todas as palavras se submetem a qualquer pessoa com a mesma facilidade, podendo soar estranhas na boca daqueles que as pronunciam. Isso decorre do fato de que, ao se apropriarem da palavra de outros, os agentes as utilizam em um novo contexto, com a sua própria intenção e imprimindo o seu próprio acento (Bakhtin, 1981, p. 293). De acordo com Wertsch (1998b), os comentários de Bakhtin sobre a apropriação apontam para um importante aspecto da relação agente-ferramenta cultural: essa relação sempre implica resistência de alguma natureza. É importante destacar que o domínio de uma ferramenta cultural não implica necessariamente apropriação. Esses processos são distintos e, como resultado, eles podem ser separados empiricamente.

Para ilustrar como os agentes podem dominar uma ferramenta cultural sem, com isso, apropriar-se dela, considere um exemplo sobre um episódio de ensino de ciências narrado por Mortimer e Wertsch (2003), envolvendo estudantes de oitava série de uma escola brasileira. Nesse episódio, o professor pediu que os alunos identificassem materiais sólidos, líquidos e gasosos, com base em três critérios distintos de classificação: (a) um sensorio-perceptual (sólidos são rígidos, líquidos são molhados etc.); (b) um empírico (sólidos têm forma e volume bem definidos, líquidos têm volume constante e forma variável etc.); (c) um com base no modelo de partículas (em sólidos, as partículas estão geometricamente organizadas, enquanto em líquidos e gases não). De acordo com os autores, os alunos demonstraram uma

forte resistência em adotar mais de um critério para classificar os materiais durante a atividade. Isso porque, para eles, a linguagem científica deveria fornecer uma única e acurada maneira de descrever o mundo. Um segundo aspecto importante nesse episódio é a atitude de um dos estudantes, Ale, com relação ao critério de seleção baseado no modelo de partículas. Esse modelo implica pensar no vidro como um líquido devido à desorganização espacial de suas partículas. Ao comentar com um de seus colegas, Ale fez a seguinte declaração: “Aqui entre nós... Eu acho que o vidro é um sólido. Se eu estou na rua, eu jamais usaria partículas para definir” (Mortimer & Wertsch, 2003, p. 241, tradução nossa). O que o exemplo acima sugere é que não se trata, portanto, de afirmar que o aluno em questão não conseguiu dominar o modelo de partículas para classificar os materiais. A questão, nesse caso, é se esse modelo de partículas consiste ou não em uma ferramenta cultural com a qual os estudantes se identificam e estão dispostos a utilizar fora do contexto escolar.

3.3.5 Caixa de ferramentas e os padrões de privilegiação

Ao lidar com a diversidade de ferramentas culturais disponíveis aos seres humanos, Wertsch sustentou que os meios mediacionais não devem ser concebidos como um todo único e indiferenciado, mas como diversos itens de uma “caixa de ferramentas” (Wertsch, 1991). Essa metáfora é uma extensão natural da analogia proposta por Vygotsky (1978) entre ferramentas técnicas e mediação semiótica, e permite explicar as diferenças grupais e contextuais na ação mediada em termos do ordenamento de ferramentas culturais às quais os agentes têm acesso, bem como em função dos modelos de seleção que eles utilizam para escolher uma determinada ferramenta cultural para uma ocasião específica. Assim, a ação mediada continua moldada pelos meios mediacionais, porém surgem novas questões, a saber: qual a natureza da diversidade de ferramentas culturais e por que uma ferramenta cultural, em oposição à outra, é utilizada para realizar determinada tarefa?

A questão da diversidade de ferramentas culturais disponíveis aos agentes está diretamente relacionada com a noção de “heterogeneidade”, proposta por Tulviste (1991), que especifica que não existe, no indivíduo, apenas uma forma única e homogênea de pensamento, mas sim diferentes tipos de pensamento verbal. Conforme vimos no capítulo de introdução, a noção de heterogeneidade pressupõe a existência de uma variedade de formas qualitativamente diferentes de representar o mundo e atuar sobre ele. A distinção entre diferentes ferramentas culturais (ou tipos de pensamento verbal) dentro de uma linguagem natural pode ser feita com base nas noções de “gêneros discursivos” e “linguagens sociais”,

propostas por Bakhtin (1986). De acordo com Wertsch (1991), essas formas de linguagem são concebidas como ferramentas culturais que organizam a ação mental e comunicativa.

Dentro da linguagem natural, os agentes da ação têm acesso a mais de uma linguagem social e um gênero discursivo. Essas formas de linguagem estão organizadas de acordo com alguma classe de hierarquia dominante que está relacionada ao poder ou à aplicabilidade dessas ferramentas. Os modelos de seleção utilizados pelos agentes para escolher uma determinada ferramenta cultural são descritos em termos da noção de “privilegiação” (op. cit.). A privilegiação refere-se ao fato de que uma ferramenta cultural, tal como uma linguagem social, é concebida como mais eficaz ou adequada do que outras em um determinado cenário sociocultural. Durante o processo de domínio dos padrões de privilegiação, a escolha de uma ferramenta cultural pode basear-se fortemente na orientação de outros, proporcionada através da interação social. Esses modelos têm como resultado a suposição de que determinada ferramenta cultural é a mais adequada (ou até a única possível) no contexto sociocultural em questão, mesmo quando existem outras ferramentas igualmente disponíveis.

3.4 Conclusão

No presente capítulo, apresentamos algumas vertentes da pesquisa sociocultural e esboçamos o referencial teórico que tem fundamentado nossos estudos sobre o ensino de ciências e sobre a mudança conceitual. Inicialmente, apresentamos uma introdução às ideias de Vygotsky (1978, 1981a, 1981b), conforme a interpretação fornecida por Wertsch (1985, 1991). A seguir, delineamos as principais contribuições de Wertsch para o estudo da ação mediada (Wertsch, 1991, 1998b) a partir do seu diálogo com outras vozes teóricas, tais como Bakhtin (1981), Burke (1969), entre outros. Na terminologia utilizada no presente capítulo, a análise sociocultural de Wertsch consiste em uma ferramenta cultural poderosa para o estudo dos processos mentais humanos. A noção de ação mediada, como unidade de análise, estabelece um vínculo natural entre o funcionamento mental e o contexto sociocultural. A tensão irreduzível entre agentes e ferramentas culturais, situadas em um cenário sociocultural particular, nos obriga a ir além do agente individual para explicar as forças que configuram a ação humana.

A perspectiva da ação mediada naturalmente tem implicações para o ensino de ciências. Aprender ciências implica varias formas de ação tais como “observar, descrever, comparar, classificar, analisar, discutir, lançar hipóteses, teorizar, questionar, desafiar,

argumentar, projetar experimentos, seguir procedimentos, julgar, avaliar, decidir, concluir, generalizar, relatar, escrever, palestrar e ensinar” (Lemke, 1990, p. 1, nossa tradução), entre outros. Todas essas formas de ação mediada envolvem ferramentas culturais materiais, que oferecem recursos e restrições e que estão associadas ao poder e à autoridade. Todas elas respondem a múltiplos objetivos simultâneos e estão em constante processo de evolução. A partir desta perspectiva, a pesquisa em ensino de ciências poderia se estruturar a partir de algumas questões fundamentais, a saber: quais as formas de ação mediada conduzidas no âmbito do ensino de ciências? Quais são as ferramentas culturais empregadas por professores e alunos e por que essas ferramentas são utilizadas quando existem outras igualmente disponíveis? De que modo novas ferramentas culturais podem transformar as ações mediadas conduzidas no contexto da sala de aula? Essas e outras questões podem representar uma agenda promissora para a pesquisa em ensino de ciências, e têm orientado nossos estudos sobre o problema da mudança conceitual.

4 UMA VERSÃO DISTRIBUÍDA DA MUDANÇA CONCEITUAL

Neste capítulo, é esboçado um modelo alternativo para analisar a dinâmica das concepções no ensino de ciências, baseado na noção de “distribuição conceitual”. De acordo com esse modelo as concepções em ciências, tanto as alternativas como as científicas, são vistas como “distribuídas” entre agentes e os recursos textuais que eles empregam; especialmente recursos textuais na forma de explicação – tanto escrita como falada. Esse modelo difere das teorias clássicas e re-enquadradas de mudança conceitual ao sugerir que diferentes grupos geram diferentes representações da realidade, mesmo na comunidade científica. A partir dessa perspectiva, as concepções são vistas como um processo ativo que frequentemente envolve disputa e contestação entre pessoas, mais do que como um corpo estruturado de conhecimento que elas possuem.

4.1 Preliminares metodológicos para o estudo da mudança conceitual

A seguir, são apresentados os preliminares metodológicos para a construção de um modelo teórico e sociocultural de mudança conceitual. Trata-se de uma análise crítica de certos pressupostos da pesquisa em mudança conceitual, baseada na análise genética de Vygotsky, seguida de uma proposta teórica inovadora. Inicialmente, são apresentadas algumas críticas ao uso de analogias com a história da ciência nos estudos da mudança conceitual. A seguir, apresentamos uma introdução ao estudo da memória coletiva, seguido da versão distribuída da memória coletiva de Wertsch (2002), como um possível referencial para o estudo das concepções em ciências. Finalmente, o modelo de distribuição conceitual é esboçado e suas implicações para o problema da mudança conceitual são discutidas.

4.1.1 Mudando a analogia na mudança conceitual

Na história da pesquisa em mudança conceitual (diSessa, 2006), diversos autores desenvolveram modelos teóricos inspirados na história e filosofia da ciência. Carey, por exemplo, viu na história da ciência “uma visão muito mais radical de reestruturação do conhecimento” (Carey, 1985, p. 4, nossa tradução). Posner e seus colegas, por sua vez, defenderam que “uma principal fonte de hipóteses referente a essa questão é a filosofia contemporânea da ciência” (Posner et al., 1982, p. 211, nossa tradução). Conforme apontou diSessa (2006, p. 272), a relação de Posner e seus colegas com a filosofia e história da ciência é bastante complexa. Primeiramente, eles se apoiaram igualmente em Kuhn (1970) e em Lakatos (1972), mesmo quando o último criticou o primeiro por abandonar a racionalidade

(diSessa, 2006). Em segundo lugar, não está claro como o quadro inerentemente sociológico de Kuhn pode ser facilmente transferido para alunos individuais. Finalmente, Posner e seus colegas se apoiaram igualmente em Toulmin (1972), considerado por muitos como sendo o principal oponente de Kuhn. Eles se apropriaram da noção de “ecologia conceitual”, termo utilizado por Toulmin em oposição à noção de “sistemas lógicos” (diSessa, 2006).

Mesmo as controvérsias na pesquisa em mudança conceitual são motivadas, em grande medida, por divergências nas orientações epistemológicas dos autores envolvidos. Mortimer (1995), por exemplo, construiu a partir da noção de perfil epistemológico, proposto por Bachelard (1968), para elaborar uma alternativa à teoria da mudança conceitual – em particular, ao “pressuposto da substituição”. Nesse mesmo espírito, diSessa (2006) usou argumentos da epistemologia de Toulmin (1972) para criticar os modelos de mudança conceitual baseados no “pressuposto da coerência”. Conforme apontou Aguiar (2001), autores como Villani (1992) e Duschl e Gitomer (1991) usaram as ideias de Laudan (1984) para criticar o caráter revolucionário da mudança conceitual sugerido por Kuhn, em favor de uma visão mais gradual e evolucionária desse processo.

Em um importante sentido, todas essas analogias com a história da ciência implicam a metáfora do “estudante cientista”. De acordo com essa analogia, mudanças no conhecimento do indivíduo ocorrem de modo similar às mudanças de teoria na história da ciência. Alguns pesquisadores têm protestado fortemente contra essa linha de raciocínio. Pintrich et al. (1993), por exemplo, criticaram o modelo de mudança conceitual por usar a metáfora do estudante cientista, que caracteriza o estudante como estando envolvido em uma investigação racional e disposto a utilizar dispositivos como teorias, modelos, experimentos e dados. Eles questionaram a validade da noção da criança como um cientista e da sala de aula como uma comunidade de cientistas. De acordo com os autores, “tais noções assumem que os objetivos e intenções das crianças e jovens na escola são análogos, se não idênticos, aos objetivos e intenções de cientistas e comunidades científicas” (Pintrich et al., p. 192, nossa tradução).

De acordo com Caravita e Halldén (1994), a metáfora do estudante cientista restringe mais do que auxilia a pesquisa e a interpretação dos processos de aprendizagem que ocorrem em sala de aula. Na opinião desses autores, o paralelismo traçado entre o desenvolvimento das ideias científicas e o desenvolvimento conceitual do aprendiz deve ser tratado com cautela. Enquanto na ciência, o teste sistemático de hipóteses é uma norma, na vida cotidiana a estratégia espontânea é tentar confirmar nossas ideias ao invés de falseá-las. Assim, parece haver importantes diferenças entre o trabalho científico e a aquisição de conhecimento comum. “Na sua forma mais intransigente, essa linha de raciocínio adere à teoria da

recapitulação; i.e., que há um paralelo direto entre a formação de conceitos no aprendiz individual e o desenvolvimento dos conceitos através da história da ciência” (Caravita & Halldén, 1994, p. 91, nossa tradução).

Perspectivas recapitulistas parecem ter uma longa história na psicologia. De acordo com Wertsch (1991), o biólogo Ernest Haeckel (1874) propôs, na segunda metade do século dezenove, a “lei da recapitulação”, que afirma que o desenvolvimento do indivíduo faz um paralelo ou recapitula o desenvolvimento das espécies. De modo similar, psicólogos como Granville Hall (1906) argumentaram que o desenvolvimento mental do indivíduo recapitula a história sociocultural. Conforme Wertsch (1991) tem apontado, versões modernas dessas formas de recapitulismo podem ser encontradas nas obras de Piaget e de Habermas. O atual estado da arte, no entanto, mostra que “quando formulada explicitamente, a maioria das noções recapitulistas é agora amplamente rejeitada na psicologia; ainda assim, sua presença implícita é muitas vezes aparente nos métodos usados para coletar e analisar dados empíricos” (Wertsch, 1991, p. 24, nossa tradução).

Esse parece ser exatamente o caso na pesquisa em mudança conceitual. Algumas variações desse recapitulismo continuam a surgir em debates contemporâneos. No prefácio de *Reframing the Conceptual Change Approach in Learning and Instruction*, por exemplo, os organizadores desse volume afirmaram que os colaboradores da obra em questão estavam particularmente interessados “em examinar algumas das críticas da teoria de Kuhn e em entender como elas se aplicam à pesquisa em mudança conceitual na aprendizagem e instrução” (Vosniadou et al., 2007, p. xxi, nossa tradução).

Conforme Pozo (1999) tem alertado, um dos problemas desse campo de estudo tem sido o fato de que alguns pesquisadores frequentemente dão certos saltos argumentativos entre níveis distintos de análise. Ele fez uma distinção entre o nível *evolutivo*, relativo às mudanças que ocorrem como resultado do desenvolvimento cognitivo, o nível *epistemológico*, relativo às mudanças que ocorrem na história da ciência, e o nível *instrucional*, que se referem às mudanças produzidas como consequência do ensino formal. De acordo com o argumento do autor, não há motivos para supor que as mudanças nos processos e representações tenham que ser as mesmas nos três casos.

A posição de Pozo é compatível com a abordagem de Vygotsky, que é a base da análise sociocultural adotada como referencial teórico do presente trabalho. Em *Studies on the History of Behavior*, Vygotsky e Luria (1993) identificaram três linhas de desenvolvimento – a evolutiva, a histórica e a ontogenética – e argumentaram que o comportamento cultural do homem é o produto dessas três linhas. Na definição dos autores, a linha *evolutiva* se refere ao

nível de desenvolvimento das espécies, i.e., à evolução biológica. Já a linha *histórica* se refere à história sociocultural, ou seja, diz respeito ao desenvolvimento histórico do comportamento. A linha ontogenética, por sua vez, se refere ao desenvolvimento dos processos mentais ao longo da vida do indivíduo. Esta última representa o foco da psicologia do desenvolvimento.

Wertsch (1985) denominou esses níveis de desenvolvimento de “domínios genéticos” e passou a se referir às linhas evolutiva, histórica e ontogenética como “filogênese”, “história sociocultural” e “ontogênese”, respectivamente. O autor também identificou um quarto domínio que aparece nos comentários de Vygotsky acerca dos procedimentos experimentais em psicologia. Esse domínio foi chamado de “microgênese” (op. cit., p. 54) e se refere à formação, em curto prazo, de certos processos mentais. De acordo com Wertsch (1991), Vygotsky lidou com dois tipos de desenvolvimento nesse nível de análise. Um deles é a emergência de um processo mental que ocorre em uma única sessão de treinamento. O outro é o desdobramento de um ato psicológico único, como o ato da percepção. Para Vygotsky, o “desenvolvimento em questão pode estar limitado apenas a poucos segundos, ou mesmo frações de segundos (como é o caso na percepção normal). Ele pode também (como no caso dos processos mentais complexos) durar muitos dias e até mesmo semanas” (Vygotsky, 1978, p. 61).

O mais importante para nossos propósitos, no entanto, é o fato de que a abordagem de Vygotsky rejeita qualquer forma de recapitulismo entre os diferentes domínios genéticos. De acordo com Wertsch (1991), cada domínio, na abordagem de Vygotsky, é governado por um conjunto único de princípios explicativos. A filogênese é basicamente governada pelos princípios darwinianos da evolução. Na transição dos símios para os humanos, no entanto, Vygotsky viu o uso de instrumentos por chimpanzés e gorilas como uma condição necessária (mas não suficiente) para o surgimento das funções mentais superiores. Nesse domínio, ele estava preocupado com a transição desde as funções mentais elementares até as superiores. Já na história sociocultural, Vygotsky estava preocupado com o que distingue o funcionamento mental dos primitivos do funcionamento mental das pessoas das sociedades modernas. Nesse contexto, ele introduziu uma distinção entre formas “rudimentares” e “avançadas”²¹ de funções mentais (Wertsch, 1985). Essa transição é marcada pela invenção e o uso de signos, especialmente a linguagem. Nesse domínio, as leis da evolução não se aplicam mais – talvez uma versão dos princípios lamarckianos, segundo a sugestão de Cole (1990). A ontogênese,

²¹ Na verdade, nesse domínio Vygotsky fez uma oposição entre funções mentais “rudimentares” e “superiores”. O termo “avançadas” foi introduzido por Wertsch (1985) para evitar confusão na terminologia, tendo em vista que mesmo as funções rudimentares são formas superiores (e não elementares) de funcionamento mental.

por sua vez, é caracterizada pela presença simultânea de múltiplas forças de desenvolvimento. Conforme já mencionamos no capítulo anterior (seção 3.2.3), as linhas de desenvolvimento natural e cultural interagem entre si para criar a dinâmica de mudança.

Vygotsky e Luria apresentaram a seguinte síntese.

O uso e a “invenção” de ferramentas pelos símios antropóides trouxeram um fim ao estágio orgânico do desenvolvimento comportamental na sequência evolucionária e preparou o caminho para uma transição de todo o desenvolvimento para um novo percurso, criando assim o principal pré-requisito psicológico do desenvolvimento histórico do comportamento. O trabalho e, em conexão com isso, o desenvolvimento da fala humana e outros signos psicológicos usados pelo homem primitivo para ganhar controle sobre o comportamento significam o início do comportamento histórico ou cultural, no sentido próprio da palavra. Finalmente, no desenvolvimento da criança, enxergamos claramente uma segunda linha de desenvolvimento em paralelo com o processo de crescimento orgânico e maturação, quer dizer, vimos o desenvolvimento cultural do comportamento baseado na aquisição de habilidades e modos de comportamento cultural e pensamento. Todos esses três fenômenos são sintomas de novas eras na evolução do comportamento, sinais de mudanças no próprio tipo de desenvolvimento. Assim, temos nos concentrados em pontos de virada, os estágios críticos no desenvolvimento do comportamento. Consideramos os seguintes estágios como sendo críticos: o uso de instrumentos nos símios; o trabalho e o uso de signos psicológicos no homem primitivo; a divisão da linha de desenvolvimento em desenvolvimento psicológico-natural e psicológico-cultural na criança. Cada ponto crítico de virada é visto principalmente em termos de *algo novo* introduzido por esse estágio no processo de desenvolvimento. Assim, tratamos cada estágio como sendo o ponto de partida para o processo de evolução futura (Vygotsky & Luria, 1993, p. 37, nossa tradução).

Conforme Wertsch (1985, 1991) tem alertado, há vários pontos da abordagem de Vygotsky que precisam ser revisados à luz de avanços nas ciências sociais e humanas. Conforme já mencionamos no capítulo anterior, Vygotsky não foi muito claro com relação ao nível de desenvolvimento natural na ontogênese. Mais especificadamente, ele não forneceu uma descrição detalhada das mudanças nesse nível e nem de como essas mudanças influenciam o desenvolvimento cultural. Com relação à história sociocultural, as afirmações de Vygotsky e Luria sobre o papel da alfabetização no processo de descontextualização dos meios mediadores (i.e., a transição das funções mentais rudimentares às avançadas) precisam ser modificadas. Ao invés de ver a alfabetização como um processo único e indiferenciado, com impacto uniforme nas formas superiores de funcionamento mental, novos estudos em ciências sociais têm mostrado que existem tipos de alfabetização diferenciados com consequências cognitivas diferenciadas. Uma das questões não resolvidas se refere à como o funcionamento mental humano muda senão pela influência da descontextualização associada à alfabetização (Wertsch, 1991, p. 22). Com relação à filogênese, a explicação de Vygotsky acerca da transição dos símios aos humanos também precisa ser revisada. Ao invés de assumir

um início súbito de mudanças socioculturais no processo evolutivo, novos estudos em antropologia têm apontado que certas formas iniciais de cultura foram desenvolvidas enquanto a evolução orgânica ainda estava em curso. Esse fato levanta a possibilidade de que práticas culturais tenham alguma influência sobre mudanças orgânicas.

Tais críticas e reformulações, no entanto, não invalidam em absoluto a abordagem de Vygotsky. Conforme Wertsch (1991) argumentou, a relação qualitativa e não recapitulista que Vygotsky traçou entre a filogênese e a história sociocultural é ainda um ponto importante e geralmente aceito. Além disso, embora ele não tenha sido claro quanto à linha natural de desenvolvimento, Vygotsky conduziu diversos estudos importantes sobre como as crianças dominam meios mediadores na ontogênese, especialmente a linguagem. Mais importante para nossos propósitos é que o quadro delineado por Vygotsky mostra claramente os riscos de simplificar demasiadamente o estudo do desenvolvimento humano ao apelar para abordagens recapitulistas. A partir da análise genética, é possível situar os diferentes estudos em mudança conceitual de acordo com o seu respectivo domínio genético de interesse. As pesquisas em psicologia do desenvolvimento (e.g. Carey, 1985), por exemplo, estão interessadas no domínio da ontogênese. Já os estudos em educação em ciências (Posner et al., 1982) e em psicologia da educação (e.g. Vosniadou, 1994), estão primeiramente preocupados com a microgênese. Finalmente, o exame da mudança conceitual na história e filosofia da ciência (e.g. Toulmin, 1972), de um modo geral, está focado na história sociocultural.

Assim, defendemos que modelos de mudança conceitual baseados em analogias com a história e filosofia da ciência, independente do filósofo adotado, são mal formulados. Isso não significa, no entanto, que as pesquisas em mudança conceitual no ensino de ciências devam focar exclusivamente no domínio da microgênese e que a história da ciência não deve ser levada em consideração. Pelo contrário, acreditamos que as concepções em ciências são o produto dessas três linhas de desenvolvimento. Em virtude disso, os modelos de mudança conceitual deveriam buscar relacionar esses três domínios genéticos ao invés de aceitar acriticamente (e muitas vezes implicitamente) os pressupostos recapitulistas. Nossa proposta, portanto, consiste em uma troca de analogia. Ao invés de se apoiar firmemente na história e filosofia da ciência, nosso modelo de distribuição conceitual fundamenta-se na análise sociocultural de Wertsch (1991, 1998b), em particular nos seus estudos sobre memória coletiva (Wertsch, 2002, 2004, 2008, 2009; Wertsch & Roediger, 2008). Acreditamos que uma analogia entre memória coletiva e concepções em ciência pode trazer novos *insights* para o problema da mudança conceitual. Além disso, ao se apoiar em uma teoria que tem suas raízes intelectuais na tradição vygotskiana, o modelo de distribuição conceitual incorpora

vários princípios do método genético, evitando assim as armadilhas do pressuposto da recapitulação que têm obscurecido a pesquisa em mudança conceitual.

4.1.2 Memória coletiva

De acordo com Wertsch (2008), a memória coletiva é uma representação do passado compartilhada por membros de um coletivo tal como uma geração ou uma nação-estado. Ao invés de focar na experiência individual e na memória, os estudos da memória coletiva examinam fenômenos sociais, tais como comemorações nacionais, o ensino de história e os meios de comunicação, para compreender como esses processos dão origem a relatos compartilhados do passado. Em alguns casos, os eventos da memória coletiva ocorreram durante o tempo de vida dos membros do grupo. Em outros casos, eles são de décadas ou séculos anteriores. Em todos esses casos, a ênfase está nos processos sociais, culturais e psicológicos que dão origem a representações compartilhadas. Uma característica da memória coletiva é que ela não lida com conhecimento neutro. Pelo contrário, ela tipicamente envolve crenças, quase sempre arraigadas, que estão ligadas à identidade e podem evocar fortes emoções quando desafiadas.

A noção de memória coletiva é usualmente atribuída ao sociólogo francês Maurice Halbwachs (1980), que afirmava já na década de 20 que o lembrar é moldado pela participação na vida coletiva e que diferentes grupos geram diferentes representações do passado. De acordo com Wertsch (2008), as ideias de Halbwachs foram consideradas por alguns como sendo interessantes, mas incompletas, e por outros como fundamentalmente falhas. Em parte devido às críticas de Frederic Bartlett (1995), considerado por muitos como sendo o pai da psicologia moderna da memória (Wertsch, 2002), as ideias de Halbwachs receberam relativamente pouca atenção durante décadas. Mais recentemente, no entanto, a memória coletiva, e outros termos relacionados tais como “memória pública” (Bodnar, 1992), se tornou um tópico de renovado interesse nas ciências sociais e humanas, fazendo agora parte da emergente atividade interdisciplinar “estudos da memória” (Roediger & Wertsch, 2008). A memória coletiva tem sido examinada em disciplinas como antropologia (e.g. Cole, 2001), história (e.g. Novick, 1999), psicologia (e.g. Pennebaker, Paez, & Rime, 1997) e sociologia (e.g. Alexander, 2002), entre outras. Um interesse nesse tópico também pode ser encontrado na cultura popular, em seus debates sobre temas como o Holocausto ou a Guerra do Vietnã (Wertsch, 2008).

Apesar do (ou talvez devido ao) fato de que a memória coletiva é tão amplamente discutida na esfera pública e em diferentes disciplinas acadêmicas especializadas, parece haver pouco consenso com relação à sua definição. Muitos pesquisadores parecem não ter conhecimento do trabalho de outros, mesmo quando eles utilizam os mesmos termos. Como resultado, a memória coletiva parece ter “quase tantas definições quanto pesquisadores escrevendo sobre ela” (Wertsch & Roediger, 2008, p. 318, nossa tradução). Conforme Wertsch (2009) tem apontado, as diferentes definições de memória coletiva podem sobrepor-se, entrar em conflito ou simplesmente não estarem relacionadas (Wertsch, 2009). Em suma, a memória coletiva é um termo amplamente utilizado, porém pouco compreendido nos debates contemporâneos. No intuito de delinear o campo conceitual dentro do qual a memória coletiva tem sido discutida, Wertsch propôs algumas “oposições conceituais” (Wertsch, 2002) ou “oposições básicas” (Wertsch, 2009; Wertsch & Roediger, 2008).

Uma primeira oposição a ser feita é entre *memória coletiva* e *memória individual*. De acordo com Wertsch (2008), a análise da memória individual tem sido foco de muito mais atenção ao longo do século passado do que a análise da memória coletiva. Além disso, a análise da memória individual é mais organizada enquanto um campo de estudo. Incontáveis periódicos, congressos, projetos de pesquisa financiados e outras atividades são dedicados à memória individual, ao passo que nenhum esforço comparável é dedicado à memória coletiva. Mesmo que o estudo da memória individual tenha suas subdivisões, separadas em um amplo conjunto de escolas de pensamento isoladas, a comunidade de pesquisadores envolvidos com esse tema já chegou a um amplo consenso sobre alguns termos e métodos básicos.

De acordo com Wertsch (2009), há duas características que marcam os estudos da memória individual. A primeira delas é o pressuposto de que a memória pode ser estudada em isolamento de outros aspectos da vida mental. Esse pressuposto é consistente com afirmações sobre redes neurais ou regiões específicas do cérebro, que vê a memória como uma faculdade ou uma habilidade especializada. A segunda característica diz respeito aos métodos utilizados em psicologia. Assim como ocorre no estudo da atenção, do raciocínio e de outros aspectos do funcionamento mental humano, a norma disciplinar para o estudo da memória individual é o emprego de situações experimentais, onde variáveis podem ser controladas e hipóteses podem ser testadas. De um modo geral, esses estudos assumem que a métrica básica para avaliar a memória é a “precisão”. Esse tipo de abordagem tem levado a importantes descobertas em psicologia, tais como o fenômeno da “distorção da memória” (Roediger & McDermott, 1995).

Já a situação dos estudos sobre a memória coletiva é bastante diferente. Ao contrário dos estudos da memória individual, que compartilham algumas definições e métodos, os

estudos da memória coletiva são caracterizados por uma falta de acordo sobre quais são as categorias básicas e sobre como elas devem ser estudadas. Os pesquisadores empregam uma variedade de termos quando eles discutem questões relacionadas a esse grande guarda-chuva conhecido como memória coletiva (Roediger & Wertsch, 2008). Ainda assim, é possível traçar alguns aspectos próprios da pesquisa em memória coletiva, pelo menos quando comparada com os estudos da memória individual. Por exemplo, ao invés de assumir que a memória pode ser estudada em isolamento, os estudos da memória coletiva partem do pressuposto de que ela está sempre ligada a outros aspectos; ela é vista como existindo em situações complexas. Os estudos da memória coletiva estão focados em como a memória pode servir as necessidades políticas e de identidade. Eles tendem a abordar a memória coletiva mais como um sítio de ativa contestação e negociação do que como meios para representar o passado de maneira precisa.

Assim, ao invés de adotar o “critério da precisão”, os estudos da memória coletiva sinalizam outra função para a memória: a de fornecer um “passado usável” (Wertsch, 2002). Esse passado usável é quase sempre parte de um projeto de identidade, que pode ter como objetivo a mobilização de uma nação para resistir a um inimigo (Wertsch, 2009). Isso não quer dizer que os estudiosos da memória coletiva não consideram a precisão como sendo algo importante. Significa sim que a noção de precisão pode ser minimizada, ou até sacrificada, quando a memória está comprometida com um projeto de identidade, a serviço de fornecer um passado usável. A partir dessa perspectiva, “a memória coletiva é mais um espaço de contestação do que um corpo de conhecimentos – um espaço em que grupos locais se engajam numa luta contínua contra elites e autoridades do estado para controlar o entendimento do passado” (Roediger & Wertsch, 2008, p. 319, nossa tradução). Os sítios de contestação sobre a memória coletiva incluem discussões de família, museus, monumentos, livros de história e feriados nacionais (ibid.).

Outra importante oposição delineada por Wertsch (2002) é entre *memória coletiva* e *história*. Essa é uma oposição problemática, porém necessária para o estudo da memória coletiva. Tendo-se em vista que a memória coletiva é uma representação do passado, como ela se diferencia da história, que também é uma representação do passado? De acordo com Wertsch (2002), essa questão foi inicialmente levantada por Halbwachs (1980) nos anos 20, mas suas origens podem ser encontradas ainda antes. Uma versão dessa questão continua fazendo parte das discussões atuais.

Nos debates contemporâneos, essa questão tem sido discutida em filosofia e em historiografia, onde a memória coletiva e a história formal não são vistas apenas como sendo

diferentes, mas, às vezes, como estando em oposição fundamental. Nora (1989), for exemplo, tem argumentado que a memória tem sido erradicada pelas práticas de se criar uma descrição analítica do passado. De acordo com o autor “No coração da história está um discurso crítico que é antitético à memória espontânea. A história é perpetuamente suspeita da memória e sua verdadeira missão é suprimir e destruí-la” (Nora, 1989, p. 9, nossa tradução). A abordagem de Nora sugere que a memória existia em um estado indiferenciado antes do surgimento da história analítica. Conforme Wertsch (2002) tem apontado, essa abordagem não implica a ideia de que a história analítica simplesmente suplantou a memória, mas aponta a necessidade de uma diferenciação e uma redefinição do que a memória pode vir a ser.

O resultado dessa diferenciação, ainda em andamento, entre memória e história é que muitas vezes é difícil categorizar inequivocadamente relatos como sendo uma coisa ou outra. Uma saída é pensar na memória e na história como dois pólos de um *continuum*. Assim, é possível reconhecer que qualquer relato é tipicamente uma mistura dessas duas formas de se relacionar com o passado. A história ensinada na escola, por exemplo, envolve claramente elementos tanto de memória coletiva quanto de história. A respeito disso, Wertsch (2002) afirmou que os debates em filosofia da história têm salientado que as tendências narrativas associadas à memória coletiva moldam até os esforços mais críticos e analíticos de se escrever a história. Por outro lado, o tipo de reivindicação de verdade agora feita tão veementemente em nome da memória coletiva vem sob um novo tipo de exame minucioso com o surgimento da história analítica. Essa questão tem levantado dúvidas sobre se alguma representação do passado pode ser genuinamente distanciada e objetiva e, conseqüentemente, se essa distinção entre memória coletiva e história pode ser mantida (Wertsch, 2009).

Correndo o risco de sugerir que a memória coletiva e a história podem ser facilmente separadas, Wertsch e Roediger (2008) apresentam um conjunto de oposições. A posição dos autores é a de que, embora seja difícil manter uma distinção entre memória coletiva e história, essas são duas formas diferentes de se relacionar com o passado. Conforme Wertsch (2002) tem alertado, as oposições por ele formuladas são mais aspirações e tendências da memória coletiva e da história e não devem ser entendidas como atributos rígidos. Uma maneira de formular essa distinção é a seguinte. Na memória coletiva, os indivíduos tendem a falar do passado a partir de uma perspectiva única – eles são comprometidos com uma interpretação particular. Eles são impacientes com ambiguidades, especialmente ambiguidades morais. Além disso, a memória coletiva está ligada a um projeto de identidade de um grupo e se refere a “quem somos nós” e “qual nossa identidade”. Já a história formal aspira por uma descrição objetiva do passado. Os historiadores reconhecem as complexidades e as ambiguidades e

buscam lidar com diferentes perspectivas, na tentativa de entender como elas se encaixam. Eles seguem evidências objetivas, mesmo quando as evidências ameaçam suas identidades. Em suma, enquanto que na memória coletiva os indivíduos ignoram evidências contrárias, no intuito de preservar uma narrativa já estabelecida, na história formal os historiadores mudam as narrativas à luz de novas evidências.

Uma terceira oposição conceitual delineada por Wertsch é entre a “versão forte” e a “versão distribuída” da memória coletiva (Wertsch, 2002). Ao contrário da diferenciação incompleta entre memória coletiva e história, essa é uma oposição que pode ser facilmente resolvida. De acordo com Wertsch (2008), alguns pesquisadores têm considerado a memória coletiva a partir de analogias não muito bem fundamentadas com a memória no indivíduo. Essas analogias caracterizam o que Handler (1994) chamou de “metáfora individualista”. Nessa metáfora, os coletivos são imaginados como se eles fossem indivíduos em larga escala de modo que características que são atribuídas aos seres humanos passam a ser igualmente atribuídas aos grupos sociais. Conforme Wertsch (2002) tem comentado, essa extensão metafórica é amplamente utilizada, e muitas vezes de modo bastante produtivo. No entanto, ao sugerir que coletivos têm algum tipo de mente própria, essa metáfora pode ser bastante problemática. Na sua formulação radical, a *versão forte* da memória coletiva assume que algum tipo de mente ou consciência coletiva existe acima e além das mentes dos indivíduos em um coletivo. De um modo geral, essa posição tem sido difícil de sustentar.

De fato, a versão forte da memória coletiva tem sido objeto de críticas legítimas. Bartlett (1995), por exemplo, denunciou já na década de 30 a “semelhança mais ou menos absoluta” que vinha sendo elaborada entre grupos sociais e indivíduos e argumentou que os coletivos não têm nenhum tipo de memória. Suas críticas foram direcionadas à Halbwachs, considerado o fundador dos estudos modernos da memória coletiva (Wertsch, 2009). Assim, como Douglas (1980), Wertsch (2002) tem argumentado que Bartlett interpretou mal as ideias de Halbwachs. Embora em alguns trechos de sua obra o autor parece ter indicado uma versão forte da memória coletiva, em outras ele foi categórico ao afirmar que “são os indivíduos enquanto membros do grupo que se lembram” (Halbwachs, 1980, p. 48, nossa tradução). Ainda assim, as observações por detrás dos comentários de Bartlett são consideradas de extrema relevância e, por tanto, merecem atenção.

Conforme Wertsch (2002) tem apontado, o próprio Bartlett estava preocupado com a dimensão social da memória. Seu interesse estava em como a memória dos indivíduos é fundamentalmente influenciada pelo contexto social em que eles operam. No fim das contas, ele defendeu uma posição que reconhece “memória *no* grupo, e não memória *do* grupo”

(Bartlett, 1995, p. 294, ênfase no original, nossa tradução). De acordo com Wertsch (2002), as ideias de Bartlett e Halbwachs parecem mais complementares do que contraditórias. A chave para entender essa questão está na noção de “indivíduos enquanto membros do grupo”. Se por um lado, são os indivíduos que lembram, por outro esses indivíduos precisam ser entendidos como membros do grupo. Assim, tanto Bartlett quanto Halbwachs focaram na memória *no* grupo e não na memória *do* grupo. Enquanto que o primeiro estava interessado em como os processos mentais dos indivíduos são influenciados por associações e pistas socialmente organizadas, o segundo estava interessado em como essas associações e pistas são fornecidas e organizadas por grupos sociais (Wertsch, 2002, p. 22).

Alternativas que reconhecem a memória *no* grupo sem recair em pressupostos questionáveis sobre memória *do* grupo constituem o que Wertsch (2002) chamou de “versão distribuída” da memória coletiva. A versão distribuída assume que uma representação do passado é distribuída entre os membros de um coletivo, mas sem presumir a existência de uma mente coletiva em qualquer sentido forte. Há diversas variantes da versão distribuída da memória coletiva. A versão mais simples de memória coletiva distribuída pode ser chamada de “homogênea”. Nessa versão, todos os membros de um grupo compartilham a mesma representação do passado, havendo pouca diferença entre as memórias dos indivíduos que compõem o grupo. Uma segunda forma de memória coletiva distribuída pode ser chamada de “complementar”. Nesse caso, assume-se que diferentes membros de um grupo têm diferentes perspectivas e lembram coisas diferentes, mas essas diferenças existem em um sistema coordenado de peças que se complementam. Finalmente, uma terceira forma de memória coletiva distribuída envolve o que Wertsch chamou de “distribuição contestada”. Como no caso da distribuição complementar, diferentes perspectivas estão presentes, mas elas existem em um sistema de oposição e contestação. Ao invés de envolver múltiplas perspectivas que se sobrepõem ou que se complementam, o foco está em como essas perspectivas competem entre si e contradizem uma à outra.

4.1.3 A mediação da memória coletiva

Um dos pontos de partida da abordagem de Wertsch (2002) à memória coletiva é a premissa de que qualquer discussão sobre esse tema deve levar em consideração o que torna a memória coletiva coletiva. É justamente nesse ponto que alguns autores são levados a sugerir uma versão forte da memória coletiva. Na ausência de uma clara definição, noções implícitas sobre uma agência mnemônica central começam a entrar em cena. Ao responder essa questão,

Wertsch foi além das categorias de individual e coletivo e introduziu as noções de ação mediada e recursos textuais na sua análise. Ao fazer isso, ele definiu um segundo sentido no qual a memória é distribuída. Se no primeiro sentido a memória é distribuída entre os membros de um coletivo (distribuição social), no segundo sentido a distribuição é entre agentes e os recursos textuais que eles empregam quando eles representam o passado – uma “distribuição instrumental”, na terminologia de Wertsch (2008). Esse segundo sentido implica a definição básica de memória como uma forma de ação mediada.

Essa linha de raciocínio faz parte de um conjunto mais geral de afirmações sobre como “a mente se estende além da pele” (Wertsch, 1991). Conforme vimos no capítulo 3, processos mentais como o pensar e o lembrar não são vistos, nessa perspectiva, como estando situados apenas dentro do indivíduo. Muitas vezes eles estão distribuídos entre indivíduos, no plano intermental. Na maioria das vezes, no entanto, esses processos estão distribuídos entre agentes e as ferramentas culturais que eles empregam para pensar, lembrar e realizar outras formas de ações. Uma forma específica de mediação semiótica, examinada por Wertsch (2002), é a “mediação textual”. De acordo com Wertsch, a mediação textual surgiu como parte do que Donald (1991) chamou de “terceira transição” na evolução cognitiva humana. Na perspectiva de Donald, o motor dessa transição não está dentro do indivíduo, mas sim na utilização de armazenamento simbólico externo como textos escritos e outras formas de registro. Isso não quer dizer que a memória reside de algum modo nos textos, mas sim que o surgimento de novas formas de armazenamento simbólico possibilitou que a lembrança sofresse mudanças fundamentais. O argumento de Donald é que os sistemas simbólicos externos impõem novas estratégias de busca e de armazenamento, novas vias de acesso à memória e novas opções no controle e na análise do próprio pensamento²².

Uma das razões para introduzir a noção de mediação textual nos estudos da memória coletiva é que ela permite falar de processos coletivos sem pressupor uma versão forte da memória coletiva. Na perspectiva de Wertsch (2002), os membros de um grupo compartilham uma representação do passado porque eles compartilham recursos textuais. O uso desses textos pode resultar em memória coletiva homogênea, complementar ou contestada, mas em qualquer um dos casos a mediação textual é a chave para entender como essa distribuição é possível em primeiro lugar. Abordar a memória coletiva a partir da perspectiva da distribuição semiótica leva a questão de como o uso de diferentes ferramentas linguísticas dão origem a diferentes formas de memória. Ao invés de concebê-las como simplesmente facilitando as

²² Um exemplo contemporâneo dessas mudanças é o surgimento de novas habilidades e estratégias associadas ao uso do *Google* e de outros sites da *internet*.

formas de memória existentes, deixando-as de algum modo inalteradas, tais ferramentas são vistas como moldando a lembrança de maneira fundamental.

Em conformidade com a noção de distribuição instrumental, qualquer explicação da memória coletiva deve levar em conta a função e a organização das ferramentas culturais envolvidas. Ao apontar a natureza textualmente mediada da memória coletiva, Wertsch focou em uma forma particular de ferramenta cultural: as narrativas (Wertsch, 1998b, 2001, 2002). De acordo com o autor, as narrativas desempenham um papel muito mais amplo na vida humana e constitui uma das poucas formas de se representar cenários, atores e eventos do passado (Wertsch, 1998b). Sua importância está no fato de que grande parte do pensar, do falar e de outras formas de ação é fundamentalmente moldada por narrativas. Essa abordagem enfatiza o poder das narrativas em dar forma a representações do passado. Ao examinar a organização narrativa da memória coletiva, i.e., o modo como as narrativas servem como ferramentas culturais para a lembrança coletiva, Wertsch (2002) formulou duas importantes distinções. A primeira delas se refere a duas funções gerais das narrativas. A segunda distinção tem a ver com dois níveis de análise narrativa.

Com relação às funções das narrativas, uma importante distinção é feita entre *função referencial* e *função dialógica*. A função referencial diz respeito ao potencial que as narrativas têm para se referir a cenários, personagens e eventos. A relação básica envolvida nessa função é entre as narrativas e os objetos que ela representa. Eles podem ser reais ou imaginados, mas no caso da memória coletiva, o foco está em eventos que se presume terem realmente acontecido. Nessa perspectiva, a função referencial das narrativas envolve mais do que simplesmente se referir a cenários, atores e eventos. Essa função envolve apreender um conjunto de eventos temporariamente distribuídos em um todo coerente. De acordo com Wertsch (2002), esse processo de dar um enredo aos eventos tem sido discutido nas ciências sociais e humanas sob o título de “enquadramento” (*emplotment*).

Assim como ocorre com outras ferramentas culturais, as narrativas estão associadas a “recursos e restrições” Wertsch (1998b). Desse modo, qualquer ato de enquadramento limita nossa perspectiva e negligencia informações que estão claramente à disposição e podem ser incluídas em outras narrativas (Wertsch, 2001). Os processos de enquadramento, portanto, moldam a organização das narrativas em geral. Uma característica fundamental dos enredos é que eles são socioculturalmente situados. A ideia básica é que eles não são universais e ahistóricos, nem são independentemente inventados pelos indivíduos. Em vez disso, eles fazem parte de um “estoque de histórias” (MacIntyre, 1984), que constitui uma parte essencial

da “caixa de ferramentas culturais” (Wertsch, 1991) disponível em um cenário sociocultural particular.

Em contraste com a função referencial, que estabelece uma relação entre narrativas e os cenários, atores e eventos que elas retratam, a função dialógica das narrativas diz respeito à relação que uma narrativa pode ter com outra. A partir dessa perspectiva, as narrativas não existem em isolamento e nem servem como instrumentos cognitivos neutros. Pelo contrário, elas estão incorporadas em discursos concretos, caracterizados por oposições dialógicas. A ideia básica por trás da função dialógica é que ela pode afetar aspectos que vão desde a motivação inicial para se contar uma história em particular até a forma particular que essa história adquire. Assim, a chave para se entender o significado e a forma de uma narrativa é entender como ela fornece uma resposta dialógica para narrativas anteriores ou como ela antecipa narrativas subsequentes (Wertsch, 2002).

Essa abordagem deriva dos escritos de Bakhtin (1984) sobre a “dialogicidade oculta”. A respeito desse conceito, o autor apresentou o seguinte resumo.

Imagine um diálogo de duas pessoas no qual as declarações do segundo falante são omitidas, mas de tal maneira que o sentido geral não é, de forma alguma, violado. O segundo falante está invisivelmente presente, suas palavras não estão lá, mas traços profundos deixados por essas palavras têm influência determinante em todas as palavras presentes e visíveis do primeiro falante. Sentimos que isso é uma conversa, embora apenas uma pessoa esteja falando, é uma conversa do tipo mais intenso, pois cada palavra presente, enunciada, responde e reage com toda sua fibra ao falante invisível, aponta para algo fora de si, para além de seus próprios limites, para as palavras não ditas de outra pessoa (Bakhtin, 1984, p. 197, nossa tradução).

Assim como no caso da memória, onde há certo “dualismo funcional” (Wertsch, 2002) entre traçar uma representação precisa do passado e fornecer um passado usável, a análise das narrativas não deve ser conduzida em termos de uma ou outra função. Ao invés de considerar a função referencial ou a função dialógica em isolamento, Wertsch (2002) propôs entender como essas duas tendências operam em conjunto e como uma ou outra podem predominar em um caso particular qualquer.

Com relação aos diferentes níveis de análise narrativa, Wertsch (2004) fez uma distinção entre “narrativas específicas” e o que ele denominou de “moldes narrativos esquemáticos” (*schematic narrative templates*). As narrativas específicas são narrativas que incluem informações sobre personagens, cenários e eventos específicos. Elas tendem a ser o foco do ensino de história nas escolas e lidam com “eventos de nível-médio”²³ (Wertsch,

²³ O nível médio é um nível de descrição que se situa entre o nível concreto, no qual os eventos são descritos em termos de atores e locais bem definidos, e o nível abstrato, caracterizado por acontecimentos envolvendo atores e

2002), presentes nos livros didáticos, nos exames e em outras formas textuais encontradas nesse contexto. Os moldes narrativos esquemáticos, por sua vez, são formas de narrativas que envolvem um nível de representação muito mais abstrato, capaz de fornecer um quadro dentro do qual as diferentes narrativas específicas podem ser fixadas. Eles surgem do uso repetido de formas narrativas padrão, produzidas pelas aulas de história nas escolas, pela mídia popular e assim por diante (Wertsch, 2003). Os moldes narrativos podem produzir réplicas que variam em seus detalhes, mais refletem uma linha histórica única.

A noção de moldes narrativos esquemáticos deriva principalmente dos escritos de Propp (1968) sobre os contos populares russos. O autor apontou a necessidade de focar nas “funções” generalizadas que caracterizam um grande número de narrativas. Sua linha de raciocínio sugere uma forma generalizada de narrativa que podem estar subjacentes a um conjunto de narrativas em uma tradição cultural. Nessa perspectiva, o foco muda da análise de uma lista de narrativas específicas para a análise de um padrão subjacente. A noção de moldes narrativos esquemáticos deriva igualmente dos escritos de Bartlett (1995) sobre os aspectos que influenciam a lembrança. O autor argumentou que o funcionamento cognitivo humano é um processo construtivo, destacando a importância de se examinar os “esquemas”, ou padrões generalizados, que os indivíduos trazem consigo para lidar com diferentes situações.

De acordo com Wertsch (2002), as ideias de Propp e de Bartlett trazem diferentes contribuições para a noção de moldes narrativos esquemáticos. Em primeiro lugar, eles são esquemáticos no mesmo sentido de que eles existem em um nível abstrato e podem envolver poucos detalhes (como as funções generalizadas de Propp ou os esquemas de Bartlett). Em segundo lugar, eles são narrativos no sentido de que eles estão organizados em torno de princípios narrativos básicos – um ponto que é explícito nos trabalhos de Propp e consistente com a proposta de Bartlett. Finalmente, os moldes narrativos esquemáticos são moldes no sentido de que eles fornecem o padrão para interpretar múltiplos episódios do passado, cada qual envolvendo datas, personagens e cenários específicos. Além disso, os moldes narrativos esquemáticos compartilham duas propriedades adicionais. Primeiro, eles não são um tipo de arquétipo universal, mas pertencem a tradições narrativas específicas. Essas tradições podem diferir de um contexto sociocultural para outro. Segundo, esses moldes narrativos não estão prontamente disponíveis à reflexão consciente. Isso ocorre, em parte, devido à “transparência” da linguagem, conforme discutida no capítulo anterior (ver seção 3.2.1).

lugares pouco especificados. O suicídio de Hitler em Berlim, por exemplo, pode ser classificado como um evento concreto, enquanto que o sofrimento nos campos de concentração, pelo menos quando descrito nesses termos vagos, pode ser caracterizado como um evento abstrato. Os eventos de nível médio, por sua vez, envolvem grandes grupos (ao invés de um único indivíduo), operando em cenários ampliados (Wertsch, 2002).

A título de ilustração, considere o molde narrativo russo, delineado por Wertsch (2002), chamado “Triunfo sobre os inimigos estrangeiros”. Na sua forma mais simples, esse molde pode ser descrito da seguinte forma: (1) a Rússia vive pacificamente e não interfere com os outros; (2) a Rússia é cruel e arbitrariamente atacada, sem provocação; (3) a Rússia quase perde tudo em total derrota; (4) através de heroísmo e excepcionalismo, e contra todas as diversidades, a Rússia triunfa. Ao esboçar esse molde narrativo esquemático, Wertsch não está afirmando que ele está disponível apenas aos membros da tradição narrativa russa ou que este seja o único molde narrativo utilizado por esse grupo. Seus comentários sobre a memória coletiva norte americana do ataque japonês a *Pearl Harbor* em 1941 é um alerta a esse respeito. No entanto, ele afirma que esse molde narrativo esquemático desempenha um papel particularmente importante na memória coletiva russa. Isso porque ele é utilizado muito mais na Rússia do que em outros lugares. Esse molde narrativo forma o enredo básico para vários dos eventos mais importantes da história da Rússia, tais como a invasão da Mongólia no século XIII, a invasão da Suécia no século XVIII, a invasão de Napoleão no século XIX e a invasão de Hitler no século XX.

Enfatizar o papel desse molde narrativo na interpretação dos russos sobre eventos do passado não significa dizer que essa interpretação é desprovida de fundamento. A Rússia claramente foi vítima de vários ataques ao longo de sua história e o povo russo passou por grande sofrimento. No entanto, é importante reconhecer que o molde narrativo esquemático é uma construção cultural e cognitiva e, portanto, não constitui a única maneira de interpretar os eventos do passado. De fato, ele contrasta com outros moldes narrativos utilizado em outros lugares do mundo, como a “busca pela liberdade” amplamente utilizada nos Estados Unidos (Wertsch, 1998b). Na próxima seção, será mostrado como as ideias de Wertsch sobre a memória coletiva podem servir como base para a construção de um modelo sociocultural de mudança conceitual para o ensino de ciências. Em particular, nosso “modelo da distribuição conceitual” toma emprestadas as noções de “recursos textuais” e “distribuição social contestada”. O poder e a utilidade dessas noções para abordar o problema da mudança conceitual são avaliados no capítulo 5, a partir de exemplos extraídos da física quântica.

4.2 Um modelo de distribuição conceitual para o ensino de ciências

O modelo de distribuição conceitual é um modelo teórico, desenvolvido para analisar a dinâmica das concepções no ensino de ciências. Trata-se de um modelo sociocultural de mudança conceitual, baseado na noção de “distribuição conceitual”. Construindo a partir das

ideias de Vygotsky (1978, 1981b), de Bakhtin (1981, 1986) e de Wertsch (1998b, 2002), formulamos uma versão distribuída das concepções em ciências ao examinar a forma como as concepções são fundamentalmente organizadas por recursos textuais; especialmente recursos textuais na forma de explicação – tanto escrita como falada. Essa formulação tem como base uma analogia com a versão distribuída da lembrança coletiva (Wertsch, 2002), conforme mostra a tabela 2.

Lembrança Coletiva de Wertsch	Modelo de Distribuição Conceitual
<ul style="list-style-type: none"> • Memória coletiva • Eventos históricos (passado) • Narrativas nacionais 	<ul style="list-style-type: none"> • Concepções em ciências • Fenômenos naturais (realidade) • Explicações científicas

Tabela 2. Analogia entre a Lembrança Coletiva e o Modelo de Distribuição Conceitual.

É importante destacar que a tabela 2 deve ser entendida como uma *analogia* e não uma distinção. Isso porque os elementos na tabela não estão em fundamental oposição. Disciplinas acadêmicas como geologia, astronomia e biologia evolutiva, por exemplo, estão claramente interessadas em eventos ou fenômenos (naturais) que ocorreram no passado. Além disso, alguns autores têm estudado as “explicações narrativas em ciência” (Norris, Guilbert, Smith, Hakimelahi, & Phillips, 2005), enquanto outros têm afirmado que uma das formas de expor o conteúdo científico na sala de aula é através de narrativas (Lemke, 1990; Ogborn et al., 1996; Scott, 1998). Finalmente, concepção e memória são duas funções mentais que se assume estarem relacionadas. Alguns pesquisadores reconhecem essa relação quando afirmam que o “conhecimento precisa ser representado de alguma forma no sistema de memória” (Vosniadou, 2007a, p. 61, nossa tradução). Em suma, os elementos da tabela 2 não devem ser vistos como estando em oposição, mas sim como exercendo funções análogas em diferentes quadros teóricos.

Uma das vantagens de se usar uma analogia com a lembrança coletiva na construção de um modelo sociocultural de mudança conceitual está no fato de que o modelo resultante desse processo é inerentemente fundamentado em princípios socioculturais. Desta maneira, evita-se o problema de se fazer aproximações entre quadros teóricos que podem ter origens em tradições intelectuais epistemologicamente distintas. Além disso, a analogia com a memória coletiva levanta a possibilidade de descrever as concepções em ciências como um espaço de disputa e contestação entre pessoas (voltaremos a essa questão na próxima seção). Questões envolvendo disputa e contestação sobre as concepções científicas não foram

abordadas ainda pelos teóricos da mudança conceitual. Finalmente, a analogia com uma versão distribuída da memória coletiva, enquanto um processo mediado por recursos textuais, evita várias formas de recapitulismo que têm obscurecido a pesquisa em mudança conceitual durante anos.

4.2.1 A natureza distribuída das concepções em ciências

A tese central de nosso estudo é a afirmação de que *as concepções em ciências, tanto as científicas quanto as alternativas, são mais bem entendidas como uma forma de ação mediada*. Em conformidade com a tabela 2, as concepções em ciências podem ser inicialmente definidas como uma representação da realidade compartilhada por membros de um grupo, onde o termo “representação” é visto como um processo – mais especificamente, como uma forma de ação. A partir dessa perspectiva, as concepções em ciências envolvem uma “tensão irreduzível” (Wertsch, 1998b) entre agentes e os recursos textuais que eles empregam; especialmente recursos textuais na forma de explicação – tanto escrita como falada. Na terminologia da ciência cognitiva contemporânea (e.g. Hutchins, 1995), as concepções em ciências são vistas como sendo “distribuídas” entre agentes e recursos textuais, e o desafio consiste em ouvir as vozes por trás desses textos, assim como as vozes de determinados agentes usando esses textos em determinados contextos (Wertsch, 2002).

No modelo de distribuição conceitual, as concepções em ciências são distribuídas: (1) socialmente, nas interações de pequenos grupos; (2) instrumentalmente, no sentido de que elas envolvem tanto pessoas como instrumentos de conhecimento. No caso da “distribuição social” (Wertsch, 2002), por exemplo, Pereira et al. (2012) examinaram a “construção colaborativa de significado” que ocorre quando grupos de indivíduos trabalham juntos para representar algum aspecto da realidade. A “distribuição instrumental” (Wertsch, 2009), por sua vez, envolve agentes – agindo sozinhos ou coletivamente – e as ferramentas culturais que eles empregam; ferramentas culturais tais como calculadoras, simulações computacionais, gráficos ou explicações. Um exemplo de distribuição instrumental pode ser encontrado no artigo de Ivarsson et al. (2002), onde os autores examinaram como crianças raciocinam sobre conceitos elementares de astronomia com a ajuda de um atlas como “ferramenta intelectual”.

A noção de explicações como ferramentas culturais básicas para as concepções em ciências implica uma redefinição da noção de aprendizagem. A partir dessa perspectiva, o aprender ciências significa *dominar explicações científicas fornecidas por outros*. Essa formulação tem sérias implicações para o problema da mudança conceitual. Em primeiro

lugar, não faz sentido falar em concepções que os indivíduos “têm”, independentemente de qualquer contexto proporcionado pela ação mediada. Na versão distribuída das concepções em ciências, a “concepção existe no mundo real apenas em termos de um ato mental e ela é exibida por alguém que faz algo em certo cenário” (Marton, 1981, p. 196, nossa tradução). Essa abordagem se opõe à metáfora da “possessão” (Wertsch, 1991), ou à da “aquisição” (Sfard, 1998), que dominou as pesquisas em psicologia durante anos. Assim, de acordo com o nosso modelo de distribuição conceitual, não são as nossas concepções em ciências que moldam nossas explicações acerca do mundo, conforme pressupõem o estudo dos modelos mentais (e.g. Chi & Roscoe, 2002; Vosniadou, 1994, 2002). Ao contrário, *são as explicações que aprendemos a usar que organizam nossas concepções acerca do mundo*. Essa visão é consistente com a abordagem bakhtiniana, que diz que “não é a atividade mental que organiza a expressão, mas, ao contrário, é a expressão que organiza a atividade mental, que a modela e determina sua orientação” (Bakhtin, 2004, p. 112)²⁴. No entanto, ela é contrária a visão cognitiva, em que a “linguagem – o que os estudantes produzem em textos, entrevistas e testes – é tratada como um reflexo mais ou menos válido de suas representações cognitivas” (Furberg & Arnseth, 2009, p. 158, nossa tradução).

Uma segunda implicação em adotar textos explicativos como ferramentas culturais é o fato de que as explicações que os estudantes empregam para representar a realidade raramente são o produto de uma pesquisa independente. Esse é certamente o caso para pesquisadores que apresentam o resultado de seus estudos em congressos ou em artigos científicos, mas está longe de ser a norma para o contexto da sala de aula ou da vida cotidiana. Ao invés de serem criadas por cada indivíduo que as utilizam, as explicações são mais bem entendidas como “recursos disponíveis em uma cultura” (Roth et al., 2008). Parafraseando MacIntyre (1984), as explicações que os estudantes fornecem sobre os conceitos da ciência fazem parte de um “estoque de explicações”, que constitui uma parte essencial de um “caixa de ferramentas” (Wertsch, 1991) disponível em um contexto sociocultural particular.

Uma terceira implicação em adotar as explicações como ferramentas culturais é que, ao utilizar a metáfora da ferramenta, fica claro que o domínio sobre uma nova explicação não implica o abandono das formas cotidianas de explicar o mundo. Essa formulação rejeita o “pressuposto da substituição”, que dominou as pesquisas em mudança conceitual nos anos 80. Tendo em vista que diferentes explicações geram diferentes representações da realidade, é

²⁴ Existe uma disputa com relação à verdadeira autoria do livro *Marxismo e Filosofia da Linguagem*. As primeiras edições dessa obra atribuem a autoria à Valentin N. Volochinov. Uma versão bastante usada desse manuscrito é sua tradução para o inglês: Volochinov, V. N. (1973). *Marxism and the philosophy of language*. New York: Seminar Press.

possível para os indivíduos coordenar diferentes visões de mundo em diferentes contextos. Essa questão já foi apontada por diversos outros autores (Linder, 1993; Pozo et al., 1999; Solomon, 1983; Spada, 1994, Vosniadou, 2007b) e está na base do modelo dos perfis conceituais de Mortimer (1995). Assim, torna-se necessário compreender por que algumas formas de explicação, em oposição a outras, são “privilegiadas” (Wertsch, 1991) em certos contextos.

Finalmente, uma quarta implicação em adotar as explicações como ferramentas culturais é que o foco muda da análise de processos individuais para a análise de processos sociais. A partir dessa perspectiva, diferentes cenários pressupõem diferentes ferramentas e, como resultado, diferentes grupos podem gerar diferentes representações da realidade. Assim, o ensino de ciências pode ser visto como uma “cruzada de fronteira” para dentro da subcultura de outro grupo, conforme sugerido por Aikenhead (1996). É importante ressaltar que mesmo os modelos de mudança conceitual inspirados na teoria de Kuhn (1970) raramente consideram a dimensão social implicada em sua proposta. Conforme apontou diSessa (2006), isso chega a ser irônico tendo em vista a centralidade da sociologia na análise kuhniana. No final do pós-escrito de sua obra mais famosa, Kuhn escreveu: “o conhecimento científico, assim como a linguagem, é intrinsecamente a propriedade comum de um grupo ou então não é nada. Para entendê-lo, vamos precisar conhecer as características especiais dos grupos que criam e usam esse conhecimento” (Kuhn, 1970, p. 208, nossa tradução).

A análise de processos sociais representa um segundo sentido no qual as concepções em ciências podem ser “socialmente distribuídas”. No primeiro sentido, a distribuição social refere-se às funções que aparecem primeiro “entre pessoas” (Vygotsky, 1981a), i.e., termos como “conceber” ou “conceitualizar” são atribuídos tanto a grupos (pequenos ou grandes) como a indivíduos. Diversos pesquisadores reconhecem essa forma de distribuição social quando examinam “atividades colaborativas” no ensino de ciências (e.g. Furberg & Arnseth, 2009; Krangle, 2007; Pereira et al., 2012). No segundo sentido, a distribuição social se refere a como as concepções estão distribuídas *entre* os membros do grupo. Nessa perspectiva, “distribuído” é o mesmo que “compartilhado”. Mantendo-se o foco sobre a mediação textual, fica claro que os membros de um grupo social compartilham uma representação da realidade porque compartilham recursos textuais.

Essas ideias sobre a distribuição social das concepções em ciências podem encontrar ressonâncias na abordagem fenomenográfica de Marton (1981). O foco de seu estudo está na sistematização das formas de pensamento que as pessoas usam para interpretar aspectos da realidade. Na perspectiva de autor, as concepções da realidade não são vistas como qualidades

individuais, mas como “categorias de descrição”, que formam um “sistema superindividual de formas de pensamento”. Marton afirma que as mesmas categorias de descrição aparecem em diferentes contextos e, portanto, o conjunto dessas categorias pode ser considerado estável e generalizável entre situações, mesmo quando o indivíduo move de uma categoria para a outra em diferentes ocasiões. A totalidade dessas categorias de descrição, portanto, “denota um tipo de intelecto coletivo, uma ferramenta evolucionária em desenvolvimento contínuo” (Marton, 1981, p. 177, nossa tradução).

Assim como ocorre no caso da memória coletiva, a distribuição social das concepções em ciências pode ser abordada de três maneiras distintas: (a) como distribuição homogênea; (b) como distribuição complementar; (c) como distribuição contestada. No caso da distribuição homogênea, os membros de um grupo compartilham a mesma representação da realidade. Vários estudos têm mostrado que estudantes compartilham as mesmas ideias básicas sobre conceitos científicos tais como força (e.g. Clement, 1982), seres vivos (e.g. Carey, 1985b), a forma da Terra (e.g. Vosniadou & Brewer, 1992), entre outros.

Na distribuição complementar, diferentes membros de um grupo podem representar diferentes aspectos do mesmo fenômeno, mas essas concepções existem em um sistema coordenado de peças que se complementam. Um exemplo de distribuição complementar pode ser encontrado no artigo de Caravita e Halldén (1994). Ao analisar como crianças do ensino fundamental constroem o conceito de organismo, os autores propuseram diferentes contextos de atividade, cada qual associado a um nível diferente de abstração. Em uma das tarefas, por exemplo, as crianças tiveram que construir um modelo dos órgãos internos de um coelho a partir de itens como esponjas, caixas, fios e tubos. Nessa atividade, foi possível explorar a relação entre os órgãos, além de discutir aspectos como posição, tamanho, forma e textura dos mesmos. Em outra atividade, as crianças “encenaram” o funcionamento do corpo humano a partir de um esboço desenhado no piso da sala de aula. Nessa teatralização, pequenos vagões representavam a corrente sanguínea e o ar e os alimentos eram representados por diferentes tipos de materiais. Diferentemente da primeira tarefa, que enfatizava os aspectos estáticos do organismo, essa última atividade estava centrada nas relações dinâmicas do funcionamento do corpo humano, como a ocorrência simultânea de múltiplas funções. A complementaridade das duas formas mencionadas acima está no fato de que elas exploram diferentes aspectos do mesmo fenômeno.

Outra maneira de interpretar a complementaridade entre diferentes representações de um mesmo conceito é a partir na noção de “perfil conceitual”, proposta por Mortimer (1995). Nesse caso, entretanto, as diferentes maneiras de representar o mundo são vistas como sendo

complementares no sentido de que elas são usadas em diferentes domínios de aplicação. Por exemplo, um indivíduo pode usar uma visão atomística do mundo para lidar com problemas de uma forma científica e, alternativamente, utilizar uma visão contínua da matéria para abordar problemas da vida cotidiana. De maneira similar, um químico com sólida formação quântica pode recorrer a uma visão daltoniana de átomo (enquanto indestrutível e indivisível), para lidar com processos químicos ou com cálculos estequiométricos (Mortimer, 1996). Essas diferentes concepções da matéria coexistem na mente de um mesmo indivíduo, formando partes de um sistema integrado, i.e., o perfil conceitual. A ideia básica é que o mesmo tipo de perfil conceitual pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura – suas categorias são independentes de contexto (Mortimer, 1995. p. 273).

Finalmente, na distribuição contestada, diferentes concepções de um mesmo conceito também são inerentes a esse processo. No entanto, ao invés de funcionarem de forma integrada, como no caso da distribuição complementar, as diferentes concepções existem em um sistema de oposição e contestação. Conflito e competição caracterizam esse tipo de representação da realidade. Ao invés de envolver várias perspectivas que complementam-se, o foco está em como essas perspectivas competem entre si ou contradizem uma a outra. No contexto do ensino de biologia, por exemplo, Bizzo (1993) utilizou a noção de “reconceitualizações sociais” – um termo semelhante ao conceito de “transposição didática”, proposto por Chevallard (1997) – para explicar as diferentes (e concorrentes) interpretações da teoria darwiniana nos debates acadêmicos. Partindo dos escritos de especialistas como Emanuel Radl, John C. Greene, Robert Maxwell Young e Ernst Mayr, o autor enfatizou que “a simples e aparentemente fácil pergunta ‘o que é o darwinismo’ admite diferentes respostas” (Bizzo, 1993, p. 4, nossa tradução).

De acordo com Bizzo, os estudiosos de Darwin reconhecidamente estão divididos quanto à questão sobre se a teoria deveria incluir seres humanos ou não. Young (1985), no entanto, apontou que uma nova tendência dominante nos estudos do darwinismo tem focado em detalhes particulares do desenvolvimento de sua obra. Na interpretação de Young, o darwinismo é uma parte de um quadro teórico mais amplo e foi construído de acordo com as ideias dominantes do contexto social dentro do qual ele foi concebido, não havendo, portanto, um darwinismo não-social. Já Radl (1988) tentou ajustar as teorias de Darwin às crenças do século XX, em uma época em que a biologia não era reconhecida como uma teoria unificada. Na interpretação do autor, Darwin não apenas foi influenciado por ideais políticas/econômicas dominantes, ou pela filosofia naturalista alemã, mas também influenciou grandes áreas do conhecimento humano como a astronomia, a linguística, a pedagogia e a criminologia, além

de muitos outros aspectos da biologia. Em uma época em que Mendel não era reconhecido como um “cientista redescoberto”, Radl discutiu extensivamente as teorias de Darwin sobre hereditariedade, mostrando como a teoria da evolução dependia dessas teorias.

Greene (1975), por sua vez, argumentou que o desenvolvimento da biologia evolucionista não seguiu os estágios da “revolução científica”, conforme descritos pela epistemologia kuhniana. De acordo com Greeno, o paradigma evolucionista da biologia não surgiu antes da década de 30, resultando a partir dos trabalhos de Darwin apenas em um sentido restrito. Muitas de suas ideias, como suas teorias genéticas subsidiárias, não são mais relevantes à nova síntese, pois se mostraram erradas e foram completamente descartadas. Finalmente, Mayr (1991) enfatizou as contribuições corretas e atualmente aceitas da teoria de Darwin. Mesmo quando o autor reconheceu as explicações incorretas que Darwin propôs para uma variedade de fenômenos, essas eram justificadas a partir da ideia de que Darwin fez o que era possível fazer na época, fomentando assim a imagem de um cientista infalível. Esse desequilíbrio com relação às contribuições positivas e negativas das ideias de Darwin tem tido uma forte influência para a narrativa que outros autores concebem ao escreverem livros escolares. Particularmente, a abordagem de Mayr à evolução, com relação à hereditariedade, é diretamente condicionada por seu pressuposto básico de que existem duas biologias: a biologia evolucionista e a biologia fisiológica.

É importante salientar que essas disputas sobre o darwinismo não caracterizam mais um caso de diferentes perspectivas de um mesmo aspecto da realidade, conforme os estudos de Caravita e Halldén (1994), ou de representações distintas para diferentes contextos, do mesmo tipo apontado por Mortimer (1995). Essas diferentes interpretações são *conflitantes entre si* e competem pelo *mesmo domínio de aplicação*, obrigando o indivíduo a fazer uma escolha. Essa escolha, nem sempre consciente, reflete os recursos textuais compartilhados pelos membros do grupo social do qual o indivíduo faz parte. Portanto, falar sobre a origem e a evolução das espécies significa necessariamente se posicionar em um dos lados do debate. Assim, as concepções científicas, nesse caso, tornam-se “um palco” de disputa e contestação entre pessoas, muito mais do que um corpo estruturado de conhecimentos que elas possuem. No próximo capítulo, examinaremos a história sociocultural da controvérsia acerca da interpretação da mecânica quântica, segundo a análise de Freire (2003, 2004). A seguir, é apresentado um estudo empírico sobre a produção e o consumo das explicações científicas acerca da realidade quântica.

4.2.2 *Concepção científica versus conhecimento científico*

Conforme Chi e Roscoe (2002) têm apontado qualquer teoria ou modelo de mudança conceitual deve fornecer uma descrição detalhada sobre o que são as concepções alternativas, o que constitui a mudança conceitual e por que ela é tão difícil de ocorrer. De acordo com a definição apresentada na seção anterior, as concepções em ciências são representações da realidade compartilhada por membros de um grupo social, onde o termo “representação” é entendido como um processo ou uma ação. Essa definição é consistente com a abordagem de Wartofsky (1979) que, ao considerar o papel dos modelos e representações no entendimento científico, argumentou que a ênfase não deveria estar nas representações, mas sim na própria atividade de representar (Wells, 2008). Embora essa ênfase na ação não seja compartilhada entre os teóricos da mudança conceitual, ela é consistente com a afirmação de Hewson de que “as pessoas lutam para dar sentido ao mundo” (Hewson, 1981, p. 348, nossa tradução). Assim, a partir dessa perspectiva, as concepções em ciências são vistas como um processo ativo, o que sugere uma ênfase no “conceber”, ou no “conceitualizar” (como algo que se faz), e não na concepção (como algo que se tem). No entanto, dado o amplo uso na literatura das noções de concepção e mudança conceitual, manteremos essa terminologia no presente estudo.

É importante destacar que a definição de “concepção” apresentada acima é aplicável tanto às concepções alternativas quanto às científicas – sendo essas últimas entendidas como representações da realidade compartilhada por membros da comunidade científica. Essa definição, no entanto, levanta uma importante questão: como as concepções científicas se diferem do conhecimento científico, que também pode ser entendido como uma representação da realidade compartilhada pelos membros de um grupo? Neste contexto, a distinção entre “domínio” e “apropriação”, formulada por Wertsch (1998b), pode ser bastante instrumental. Conforme vimos no capítulo 3 (ver seção 3.3.4), o termo domínio se refere a como utilizar uma ferramenta cultural com facilidade. A noção de apropriação, por sua vez, ocorre quando alguém toma a palavra de outro e a torna própria, povoando-a com suas próprias intenções. A apropriação, portanto, envolve uma relação mais pessoal do agente com a ferramenta cultural. Com base nessa distinção, é possível dominar certos recursos textuais sem apropriar-se deles. Um cientista, por exemplo, pode dominar textos religiosos e ainda assim ser ateu. Isso implica uma análise não apenas daquilo que os indivíduos “sabem” sobre textos científicos, mas também daquilo que eles “acreditam”.

Essa diferenciação entre domínio e apropriação, formulada por Wertsch (1998b), é compatível com outras distinções encontradas na literatura. Cobern (1996), por exemplo, discutiu a diferença entre “compreensão” e “apreensão”, definindo esse último construto como o ato de “aceitar como verdadeiro ou válido o conceito que se tenha compreendido” (op. cit., p. 592, nossa tradução). Já Sinatra, Southerland, McConaughy e Demastes (2003) apresentaram uma discussão sobre a relação entre as noções de “entendimento” e “aceitação” no contexto do ensino da teoria evolutiva. El-Hani e Mortimer (2007) também discutiram a diferença entre “entendimento” e “mudança de crença” e defenderam que o entendimento deveria ser o objetivo central do ensino de ciência. Conforme esses próprios autores apontaram, no entanto, “a noção de apropriação [em contraste com outras noções como apreensão, aceitação ou crença] tem a vantagem de funcionar dialeticamente com a sua contraparte: resistência” (op. cit., p. 669, nossa tradução). Essa é a razão pela qual essa noção será adotada no presente estudo.

Uma importante característica comum entre essas distinções mencionadas acima é o pressuposto de que o primeiro construto da distinção (domínio/compreensão/entendimento) pode ser analiticamente separado do segundo (apropriação/apreensão/aceitação). Nas palavras de Cobern (1996), por exemplo, “[d]e importância crítica é o fato de que *compreensão não necessita apreensão*. Alguém pode muito bem rejeitar um conceito que ele ou ela compreende plenamente” (op. cit., p. 592, ênfase no original, nossa tradução). Essa afirmação é compatível com o modelo original de mudança conceitual de Posner et al. (1982), no qual o status de uma concepção pode ser considerada inteligível, mas não plausível (Hewson, 1981). A recíproca dessa afirmação também parece ser verdadeira. Nos estudos de Sinatra et al. (2003), não foi encontrada relação significativa entre o conhecimento dos estudantes sobre a evolução e sua aceitação da teoria. De acordo com os autores, “parece que os estudantes podem ter um entendimento da teoria evolutiva sem aceitar sua validade ou, alternativamente, eles podem aceitar a validade do construto baseados em um pobre entendimento dele” (op. cit., p. 521, nossa tradução).

Em suma, nossa posição no que se refere a essa questão é a de que as *concepções* em ciências, diferentemente do *conhecimento* que alguém possa ter sobre conceitos científicos, envolvem apropriação. Essa distinção entre conhecimento e concepção que estamos propondo é similar a diferenciação mais geral que é usualmente feita entre “conhecimento” e “crença”. É importante destacar que diversos teóricos da mudança conceitual têm buscado critérios rigorosos para definir com precisão o conceito de *misconception* (e.g. Chi & Roscoe, 2002; Vosniadou, 1994), mas pouco tem sido feito para definir o termo “concepção” em primeiro

lugar. Já a relação entre conhecimento e crença é um tema bastante controverso na literatura. Conforme El-Hani e Mortimer (2007) apontaram, a busca por critério para distinguir entre conhecimento e crença é um dos problemas mais centrais da teoria do conhecimento. Mais recentemente, esse problema tem se tornado o tema de acalorados debates na educação em ciências (Cobern, 2000, 2004; El-Hani & Mortimer, 2007; Hoffmann, 2007; Sinatra et al., 2003; Smith & Siegel, 2004; Southerland, Sinatra & Mathews, 2001).

Smith e Siegel (2004) descreveram o modo como os termos conhecimento e crença têm sido usados entre filósofos, psicólogos da educação e educadores em ciências, além do público em geral. Na filosofia, desde Platão o *conhecimento* tem sido definido como uma “crença verdadeira justificada” (op. cit., p. 555). Atualmente, há uma grande controvérsia filosófica com relação às três condições do conhecimento (crença, verdade e justificação), além da própria adequação dessa definição. No entanto, um ponto comum entre os filósofos é a afirmação de que a “crença é uma condição *necessária* do conhecimento” (op. cit., p. 556, ênfase no original, nossa tradução). Já na psicologia da educação, a noção de conhecimento tende a englobar tudo aquilo que uma pessoa sabe ou acredita ser verdadeiro, independente disso ser corroborado ou não como verdade. Assim, conhecimento e crença não são claramente distinguidos. Não há distinção a ser feita entre estudar processos pelos quais sentido e absurdo são aprendidos.

Na educação em ciências, os pesquisadores têm sido pouco explícitos com relação ao significado preciso dos termos conhecimento e crença. De um modo geral eles tendem a ver o conhecimento como sendo evidencial, dinâmico e emocionalmente neutro, enquanto que a crença é normalmente descrita como sendo tanto evidencial como não-evidencial, estática e emocionalmente conectada (op. cit., p. 557). Entre os defensores do construtivismo, alguns autores afirmam que conhecimento e crença são intrinsecamente interligados (Cobern, 2000). No modelo de mudança conceitual de Posner et al. (1982), a condição de plausibilidade é fortemente relacionada à noção de credibilidade, o que mostra que os pesquisadores dessa área em geral, na educação em ciências, distinguem entre conhecimento e crença. Finalmente, Smith e Siegel (2004) analisaram o uso dos termos conhecimento e crença na linguagem popular. De um modo geral, os diferentes usos desses termos podem ser situados ao longo de nove *continua*, incluindo: racional/irracional; público/pessoal; estático/dinâmico; implicando baixo compromisso/ implicando alto compromisso.

Conscientes da atual controvérsia envolvendo a relação entre conhecimento e crença, optamos, nesse estudo, manter a distinção entre conhecimento científico e concepção científica. Nossa posição tem como base o argumento de Davson-Galle (2004) de que a

afirmação “eu entendo a teoria da evolução, mas não acredito nela” não contradiz a explicação filosófica padrão, na qual a crença é uma condição necessária (mas não suficiente) para o conhecimento²⁵. De acordo com nossa definição, as concepções científicas envolvem um “compromisso” do sujeito com uma interpretação particular da realidade, enquanto que o conhecimento (ou entendimento) científico pode implicar uma relação mais instrumental entre agente e recurso textual. Nesse sentido, concordamos com as defesas de Smith e Siegel (2004) e de El-Hani e Mortimer (2007) de que o objetivo central do ensino de ciências deveria ser o entendimento ao invés da mudança de crenças e de que saber tipicamente (mas não sempre) envolve acreditar. Gostaríamos apenas de acrescentar a ideia de que o estudante de ciências deveria não apenas entender o conteúdo científico e as razões pelas quais esse conhecimento vale a pena, mas também aprender que existem determinadas esferas da atividade humana nas quais nenhum outro discurso além do científico é aceito (afinal de contas, nem todos os cientistas são mentes abertas!).

Voltando à nossa definição de concepção, questões sobre “compromisso” com uma forma particular de ver o mundo – e de praticar ciência nele – têm sido discutidas nos debates em história e filosofia da ciência por Kuhn (1970). Em um de seus textos, o autor se referiu aos compromissos compartilhados pelos membros de uma comunidade de pesquisa em termos de um “dogmatismo científico” (Kuhn, 1963). A ideia básica subjacente à noção de compromisso com um paradigma é desfazer a imagem do cientista como um sujeito sem preconceitos em busca da verdade, que examina apenas fatos objetivos. De acordo com o argumento de Kuhn, convicções fortemente arraigadas, que são anteriores à pesquisa, são condições para o sucesso na ciência. Se, por um lado, esse compromisso quase dogmático resulta em visão drasticamente restringida da natureza, por outro, dentro da região onde essa visão é focada o resultado é o conhecimento e entendimentos de detalhes que não poderia ser alcançados de outra forma. Sua conclusão é que “sem compromisso com um paradigma, não poderia haver ciência normal” (Kuhn, 1970, p. 100, nossa tradução) e essa é a razão por que os cientistas são usualmente tão resistentes à mudança de paradigma.

Voltando à noção de concepções como uma representação comprometida da realidade compartilhada por membros de um grupo social, acreditamos que a definição delineada acima também é compatível com a teoria dos perfis conceituais de Mortimer (1995). Tendo em vista

²⁵ O argumento de Davson-Galle (2004) é que frases do tipo “eu sei que a teoria da relatividade diz que o tempo é relativo, mas eu não acredito na relatividade do tempo” não contradiz a regra na qual “X sabe p” implica “X acredita em p”. Trata-se de um caso do tipo: “X sabe p, mas não acredita em q”. Para ser inconsistente com a primeira regra, a frase deveria ser algo do tipo: “eu sei que a teoria da relatividade diz que o tempo é relativo, mas eu não acredito que a teoria da relatividade diz que o tempo é relativo” ou “eu sei que o tempo é relativo, mas eu não acredito que o tempo é relativo”.

que um indivíduo pode participar de diferentes grupos sociais ou, na terminologia usada por Bakhtin (1986), diferentes “esferas da atividade humana”, tal indivíduo eventualmente entrará em contato com diferentes representações da realidade, construindo assim as diferentes zonas do seu perfil conceitual. O fato de as concepções científicas tipicamente envolverem um compromisso (i.e., apropriação) por parte dos sujeitos com uma interpretação particular da realidade não deve ser entendida como uma contradição. De acordo com Wertsch:

[A] apropriação é muitas vezes não uma função da psicologia do indivíduo. Em vez disso, ela também é tipicamente uma função do contexto em que os indivíduos atuam. Ao tentar analisar o que um povo "realmente acredita", é o caso muitas vezes de que ele parece acreditar em uma coisa em um contexto e em algo diferente, e muitas vezes contraditório, em outro (Wertsch, 2002, p. 123, nossa tradução).

Seguindo as ideias de Marton (1981), Mortimer definiu a noção de perfil conceitual “como um ‘sistema superindividual de formas de pensamento’ que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura” (Mortimer, 1995, p. 273, nossa tradução). No entanto, ele não especificou o que acontece quando indivíduos de *diferentes* culturas disputam uma representação da realidade. Partindo da definição de cultura com “um sistema ordenado de significado e de símbolos, em termos do qual a interação social tem lugar” (Geertz, 1973, p. 144, nossa tradução), entendemos que diferentes instituições de pesquisa, e de ensino, necessariamente constituem diferentes culturas. É justamente nesse ponto que acreditamos que o modelo de distribuição conceitual pode representar um avanço com relação aos estudos da mudança conceitual e ao programa dos perfis conceituais. A partir da noção de “distribuição social contestada”, é possível entender por que indivíduos de diferentes tradições interpretativas encontram sérias dificuldades de negociar suas diferenças. Isso nos motiva a entender as forças que estão em jogo quando se tenta mudar determinadas concepções científicas que são institucionalmente sancionadas.

4.2.3 *Mudança conceitual como transformação da ação mediada*

Voltando às três questões levantadas por Chi e Roscoe (2002), qualquer modelo sociocultural de mudança conceitual deve implicar uma redefinição do que seja esse construto. Greeno e Sande (2007), por exemplo, têm falado de “crescimento conceitual” como uma mudança na prática discursiva. Segundo esses autores, o crescimento conceitual de uma comunidade é uma “mudança nos conceitos e concepções que ela usa ao comunicar, entender, raciocinar, resolver problemas e tomar decisões, ou na distribuição da participação nessas atividades entre membros da comunidade” (Greeno & Sande, 2007, p. 12, nossa tradução). Já

Ivarsson et al. (2002) têm se referido à mudança conceitual em termos de “desenvolvimento cognitivo”. Na visão desses autores, tal conceito não deveria ser visto como uma mudança em modelos mentais ou estruturas cognitivas, mas sim como um “domínio crescente de meios de mediação que podem ser intelectuais ou físicos” (Ivarsson et al., 2002, p. 86, nossa tradução). Wells (2008), por sua vez, tem focado no “desenvolvimento conceitual” enquanto o domínio no uso de conceitos; conceitos esses entendidos como objetos do terceiro mundo popperiano.

Todas essas propostas trazem importantes contribuições para o problema da mudança conceitual. Implícito em todas essas abordagens está o “domínio” (Wertsch, 1998b) no uso de certas ferramentas culturais – que é um dos focos dos estudos da ação mediada. Com base nas propostas citadas acima, é possível inferir uma definição de mudança conceitual que envolve mudanças nos níveis de habilidade dos agentes para lidar com certas ferramentas culturais. Esses estudos, no entanto, não enfatizam (pelo menos não explicitamente) as dinâmicas de mudança causadas pela introdução de uma *nova* ferramenta cultural. Essa formulação está baseada em uma das propriedades da ação mediada, que diz que “novos meios de mediação transformam a ação” (Wertsch, 1998b, p. 25, nossa tradução). Dessa forma, nossa resposta à pergunta de diSessa e Sherin (1998), “o que muda na mudança conceitual?”, é simplesmente “a ação mediada”. Isso envolve não apenas a análise das ferramentas culturais envolvidas na ação, mas também a análise do uso particular que é feito delas por determinados agentes em determinados contextos.

Certamente, algumas mudanças no modo como os indivíduos representam aspectos da realidade podem estar relacionadas com diferentes níveis de habilidades ou outros fatores sobre os agentes. Entretanto, acreditamos que mudanças mais dramáticas (i.e., qualitativas) estão associadas ao surgimento de novas formas de mediação. Essa definição é consistente com as distinções encontradas na literatura entre “reestruturação fraca” e “reestruturação forte” (Carey, 1995b), “reorganização conceitual” e “mudança conceitual” (Chi & Roscoe, 2002), “captura conceitual” e “troca conceitual” (Hewson, 1981) ou “assimilação” e “acomodação” (Posner et al., 1982). Assim como nesses estudos citados, o foco de nosso modelo está nas “mudanças revolucionárias” (Wertsch, 1985) que ocorrem no desenvolvimento da ação mediada. Um exemplo desse tipo pode ser encontrado nos estudos de Schoultz et al. (2001), onde os autores introduziram um globo como meio auxiliar para o raciocínio de crianças escolares sobre conceitos elementares de astronomia.

A partir dessa perspectiva, o “mecanismo de mudança” é dificilmente um processo individual. Obviamente, o processo de mudança conceitual ocorre através da interação social, ocasião em que processos externos são transformados para criar processos internos, conforme

postula a “lei genética geral do desenvolvimento cultural” formulada por Vygotsky (1981a). Esse processo de internalização necessariamente envolve um mecanismo semiótico que pode ser descrito em termos da “emergência do controle sobre as formas de signos externos” (Wertsch & Stone, 1985). Isso implica o domínio de atividades socialmente definidas, que ocorre quando o indivíduo passa a reconhecer o significado completo dos signos que ele já utiliza na interação social. Esse processo pode ser resumido em termos de uma transição desde a “regulação de outros” até a “auto-regulação” (Wertsch, 1979). Essa transição não envolve apenas o domínio sobre as ferramentas culturais que são utilizadas pelos outros para orientar a ação de um indivíduo, mas também o domínio dos “padrões de privilegição” (Wertsch, 1991) que eles utilizam para selecionar uma ferramenta cultural particular.

Finalmente, algumas concepções em ciências (em especial as concepções alternativas) são consideradas como sendo resistentes à mudança – o que tem gerado a questão sobre por que a mudança conceitual é tão difícil de ocorrer. No modelo original de Posner et al. (1982), essa questão está relacionada com compromissos epistemológicos e com crenças metafísicas presentes na ecologia conceitual do indivíduo. Já na perspectiva de Vosniadou (2007b), tal dificuldade deriva da falta de consciência meta-conceitual, por parte dos estudantes, de suas teorias intuitivas. Chi e Roscoe (2002), por sua vez, atribuem a dificuldade do processo de mudança à falta de consciência dos estudantes com relação à necessidade de assinalar um determinado conceito a uma nova categoria ontológica ou, alternativamente, à falta de uma nova categoria ontológica para re-assinalar o conceito em questão. Finalmente, Moreira e Greca (2003) argumentam que as concepções alternativas são resistentes à mudança porque elas são produtos de aprendizagens significativas, no sentido ausubeliano.

Em geral, essas abordagens trazem importantes contribuições para o problema da mudança conceitual. No entanto, acreditamos que o argumento de Moreira e Greca (2003), em particular, é bastante problemático por duas razões. Em primeiro lugar, as concepções alternativas são consideradas, dentro da abordagem cognitiva, como tendo suas origens na interação do indivíduo com o mundo físico. Já a teoria da aprendizagem significativa, pelo menos da forma como a entendemos, é uma teoria sobre a aquisição de um corpo estruturado de conhecimento em situações formais de ensino²⁶. Isso significa que ela não é uma teoria do desenvolvimento, no mesmo sentido das teorias de Piaget. Assim, a aprendizagem significativa e a aquisição de concepções alternativas são, portanto, fenômenos que supostamente ocorrem em diferentes “domínios genéticos” (Wertsch, 1985); a primeira na

²⁶ Parece-nos pouco provável que as concepções alternativas de crianças pré-escolares tenham sido aprendidas em situações formais de ensino.

microgênese (processo de instrução) e a segunda na ontogênese (desenvolvimento cognitivo na infância). Em segundo lugar, a premissa básica da teoria da aprendizagem significativa (Ausubel, 2000) é a ideia de que a nova informação a ser aprendida interage com as ideias relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz (i.e., conceitos subsunçores). Se as concepções alternativas são, de fato, resultados de aprendizagem significativa, quais são os conceitos subsunçores desse processo?

Da perspectiva do nosso modelo de distribuição conceitual, essa questão referente à “resistência à mudança” de algumas concepções em ciências pode levar a várias respostas. Em primeiro lugar, conforme vimos na seção anterior (seção 4.2.2), o domínio sobre uma nova ferramenta cultural não implica apropriação, o que significa que um indivíduo pode saber como usar uma explicação científica adequadamente sem, com isso, acreditar nela. Um exemplo pode ser encontrado nos estudos de Sepulveda e El-Hani (2004, 2006) que, ao analisarem como alunos protestantes reagem ao discurso científico, encontraram em uma parcela significativa de sua amostra uma recusa total e sistemática ao discurso evolucionista. Em segundo lugar, mesmo quando um agente se apropria de certos recursos textuais, essa apropriação sempre resulta em resistência de alguma natureza. Isso porque o processo de apropriação em si envolve o ato de tomar a palavra de outros e aplicá-la em um novo contexto, com uma nova intenção, imprimindo o próprio acento. Assim, cada discurso particular implica uma *tensão* entre apropriação e resistência, o que significa que em determinados contextos haverá maior apropriação do discurso científico, enquanto que em outros haverá maior resistência.

Em terceiro lugar, assim como ocorre com outras ferramentas culturais, as explicações científicas fornecem tanto “recursos” como “restrições” (Wertsch, 1998b). Assim como elas permitem ao ser humano apreender vários aspectos da realidade em uma relação causal entre suas partes, elas também envolvem um limite de perspectiva que pode resultar na ausência de informações relevantes para o indivíduo, informações essas que podem estar presentes em outros tipos de explicação (e.g. religiosa, do senso comum, etc.). Finalmente, o compromisso do indivíduo com uma interpretação particular da realidade muitas vezes está associado à sua falta de consciência com relação à natureza textualmente mediada das concepções em ciências. Conforme vimos no exemplo de Laura, no capítulo de introdução do presente trabalho, ela parecia estar simplesmente descrevendo a natureza em si, como *ela realmente é*, e não uma explicação dessa natureza. Esse problema, de ordem epistemológica, está relacionado com o que Wertsch (2002) chamou de “transparência” da linguagem. Tendo em vista que a função primordial da linguagem é a comunicação, ela acaba servindo como uma

forma de “mediação implícita” (Wertsch, 2006), uma vez que ela raramente é introduzida intencionalmente, com o propósito específico de organizar a ação. Pelo contrário, ela já é parte da ação comunicativa em andamento, o que a torna invisível para os indivíduos. Assim, ela é raramente tomada como objeto de reflexão consciente.

4.2.4 Explicações como ferramentas culturais para as concepções em ciências

Conforme já mencionamos na seção 4.2.1, o modelo de distribuição conceitual é um modelo teórico, desenvolvido para analisar a dinâmica das concepções no ensino de ciências. Trata-se de um modelo sociocultural de mudança conceitual que enfatiza o modo como ferramentas culturais, especialmente recursos textuais na forma de explicação, moldam esse processo. Nosso objetivo é usar um modelo baseado na análise sociocultural de James Wertsch (1991, 1998) para oferecer as bases para discutir as explicações como ferramentas culturais. Apesar de alguns autores questionarem a centralidade da linguagem na pesquisa em educação em ciências e alertarem para os diferentes “modos de comunicação” envolvidos na construção de significados em sala de aula (Kress, Jewitt, Ogborn, & Tsatsarelis, 2001; Ogborn et al., 1996; Piccinini & Martins, 2004), nosso modelo de distribuição conceitual tem como principal foco a “mediação textual” (Wertsch, 2002). Conforme Donald (1991) tem apontado, o uso generalizado de “armazenamento simbólico externo”, que surgiu como parte do terceiro estágio da evolução da cognição humana, teve grande impacto na arquitetura cognitiva. Nas palavras do autor, “o sistema simbólico externo impõe mais do que uma estrutura de interface sobre o cérebro. Ele impõe estratégias de busca, novas estratégias de armazenamento, novas rotas de acesso à memória, novas opções tanto no controle quanto na análise do próprio comportamento” (op. cit., p. 19, nossa tradução).

Na filosofia da ciência, há uma vasta literatura dedicada ao estudo da “explicação”, juntamente com outros temas tais como a “justificação” e a “falsificação” (McMullin, 1987). Entretanto, conforme Norris et al. (2005) tem alertado, é possível afirmar que não há ainda uma formulação plenamente satisfatória da explicação. Ao analisar as explicações narrativas na ciência, Norris e seus colegas apresentaram uma revisão sobre o tema ao responderem à pergunta: o que é uma explicação? De acordo com os autores, a explicação pode ser definida, na sua forma mais básica, como um ato destinado a tornar algo claro, entendível ou inteligível (op. cit., p. 546). Com base na análise de Passmore (1965), os autores argumentaram que as explicações podem servir a diferentes funções tais como atribuir, desenvolver ou expandir significado (explicação interpretativa), oferecer uma justificação (explicação justificativa);

fornecer uma descrição (explicação descritiva) ou estabelecer uma relação causal (explicação causal).

Norris et al. (2005) destacaram que as explicações tem sido classificadas também em termos de seu tipo e não apenas de sua função. Os autores focaram na explicação científica, correspondente ao tipo de explicação mais extensivamente discutido na literatura. Com base na classificação de Nagel (1961), os autores apresentaram quatro padrões de explicação científica: o dedutivo, o probabilístico, o funcional e o genético. O primeiro deles, o padrão dedutivo, também conhecido como “modelo dedutivo monológico”, tem sido amplamente atribuído ao artigo seminal de Hempel e Oppenheim (1948). De acordo com esse modelo, aquilo que está sendo explicado deve ser logicamente deduzido a partir de condições antecedentes e de leis gerais. Em outras palavras, as explicações causais para fatos particulares são fornecidas apenas quando regularidades empíricas (i.e., leis gerais) conectam um conjunto particular de condições antecedentes à ocorrência de um evento particular.

Uma das críticas ao modelo dedutivo, segundo o artigo de Norris et al. (2005), é a afirmação de que se a explicação científica estivesse confinada ao argumento dedutivo a partir de leis gerais, muitas discussões científicas modernas estariam fora do âmbito da explicação. O conceito de explicação então passou a ser estendido para incluir explicações baseadas em probabilidade estatística. Na explicação estatística, um evento é explicado mostrando que sua ocorrência é altamente provável com base em certos fatos e leis gerais estatisticamente conhecidas. Outra crítica, ainda mais significativa, ao modelo de Hempel e Oppenheim é que as explicações funcionais, muito importantes na biologia, não se enquadram no referido padrão dedutivo. A explicação funcional diz respeito à função ou ao propósito de alguma coisa – em outras palavras, explica um objeto apontando a sua função. Uma terceira crítica vem dos historiadores, que afirmam que há uma explicação genética, ou narrativa, que relaciona a “estória” que levou ao evento que deve ser explicado. A tarefa da explicação genética, segundo essa visão, é montar a sequência dos principais eventos através dos quais algum sistema se transformou em um outro.

Norris e seus colegas também apresentaram duas alternativas contemporâneas ao modelo dedutivo de Hempel e Oppenheim. A primeira delas é a “unificação explicativa” de Kitcher (1989), que afirma que o valor das explicações reside na sua capacidade de unificar e organizar o conhecimento. O conhecimento científico é unificado na medida em que nossas explicações enquadram o fenômeno em questão dentro de uma visão geral de mundo, com poucos pressupostos independentes. Nessa visão, as explicações precisam ser avaliadas contra um “armazenamento explicativo” (*explanatory store*) disponível em uma época (op. cit., p.

436). A segunda alternativa é a visão pragmática de Fraassen (1980). Segundo essa visão, uma explicação é sempre uma resposta para uma pergunta, especialmente uma pergunta do tipo “por quê?”. Ao conceber a explicação como um “ato de fala”, essa abordagem defende que as perguntas precisam ser interpretadas em um contexto, o que torna seu significado pragmático.

Concari (2001) também apresentou uma discussão sobre o problema da explicação científica e apontou implicações para o ensino de ciências. A autora distinguiu duas posturas filosóficas com relação à explicação. A primeira delas, já superada, defendida por Duhem e por Pearson, sustenta que as teorias científicas “representam”, mas não “explicam” as leis experimentais. A segunda postura filosófica, correspondente à concepção atual de explicação, afirma que as teorias explicam os fenômenos descrevendo a realidade subjacente a eles e prevendo novos fenômenos. Com base nos escritos de Klimovsky (1995), a autora apontou uma distinção entre explicação e predição. De acordo com essa distinção, a predição se refere às consequências observacionais que se esperam ocorrer, enquanto que a explicação, por sua vez, tenta dar razões para os fatos que já ocorreram. A autora também afirma que para muitos físicos, a ciência é essencialmente explicativa porque ela tenta explicar os fatos em termos de leis, e as leis em termos de princípios. Ela fez referência ao modelo dedutivo monológico e afirmou que esse modelo admite uma variante: a “explicação potencial”. Na explicação potencial, os dados locais são substituídos por suposições (e.g. explicações em cosmologia). A autora também fez uma breve referência às explicações funcionais na biologia. Finalmente, a autora apresentou a visão de Rolando Garcia, na qual o papel das condições antecedentes é menos relevante. De acordo com essa visão, a explicação científica consiste simplesmente em demonstrar que um fenômeno é uma consequência direta de leis já aceitas.

Ao considerar implicações de explicações e modelos científicos no ensino de ciências, Concari (2001) apresentou uma classificação formulada por Gilbert (1998). De acordo com essa classificação, existem cinco tipos de explicação: (1) a *intencional* (por que se solicita a explicação?); (2) a explicação *descritiva* (como se comporta o fenômeno explicado?); (3) a explicação *interpretativa* (de que se compõe o fenômeno?); (4) a explicação *causal* (por que o fenômeno se comporta desse modo?); (5) a explicação *preditiva* (como ele deveria se comportar em outras circunstâncias?). Na perspectiva de Gilbert, a questão essencial não é considerar se as explicações fornecidas nas aulas de ciências são científicas ou não, mas sim se são ou não são adequadas, ou ainda, se são mais ou menos adequadas do que outras explicações.

Também no contexto da educação em ciências, Ogborn et al. (1996) abordaram as explicações científicas como sendo análogas a “estórias”. Nessa abordagem, as explicações envolvem um elenco de protagonistas, tais como genes, fótons ou moléculas, cada qual com suas próprias habilidades, e que atuam em uma série de eventos. Um exemplo é o processo de poluição dos rios – os agricultores fertilizam suas colheitas; a chuva leva os fertilizantes até o rio; os fertilizantes fazem as plantas na água crescerem rapidamente; a água fica cheia de matéria em decomposição. O elenco, nesse caso, é formado por agricultores, fertilizantes, a chuva, o rio e as plantas. A história depende do conhecimento sobre o que os fertilizantes podem fazer às plantas, o que a chuva pode fazer aos fertilizantes, e assim por diante. Essa abordagem permite uma aproximação entre explicações e narrativas que, segundo Millar e Osborne (1998), podem ser consideradas como uma das formas mais poderosas de comunicar ideias.

Em um estudo sobre a análise microgenética das explicações no ensino de ciências, Mortimer (2000) propôs uma distinção entre dois níveis de análise, o macro e o micro, definidos como enunciados “baseados empírica/sensoriamente” e enunciados “dirigidos por teoria”. De acordo com essa definição, as descrições baseadas empírica/sensoriamente são formas de enunciado que descrevem os fenômenos em termos de entidades visualmente presentes no sistema. Já as descrições orientadas por teoria são definidas como tipos de enunciados que vão além dos fenômenos, descrevendo-os em termos de entidades que não estão no fenômeno em si, mas que são criadas através de relações intralinguísticas. O autor também propôs uma distinção entre descrição, explicação e generalização, o que aproxima sua abordagem do modelo dedutivo monológico de Hempel e Oppenheim. De acordo com Mortimer, a diferença entre descrição e explicação é que a última estabelece explicitamente relações entre entidades e conceitos, envolvendo alguma forma de mecanismo causal. Já a noção de generalização é definida como algo que vai além da explicação ao assumir que algumas explicações não são propriedades de um dado fenômeno, mas sim propriedades gerais das entidades, substâncias ou classes de fenômenos científicos.

Nosso objetivo não é oferecer uma extensa revisão sobre as diferentes definições de explicação encontradas na literatura. Essa tarefa é bastante complexa e está bem além do escopo do presente estudo. Ao invés disso, focaremos na tarefa mais limitada de examinar como recursos textuais na forma de explicação, fornecidas por instituições formais de ensino (escolas ou universidades), podem servir aos membros de uma determinada comunidade (escolar ou acadêmica) como ferramentas culturais para representar a realidade. Novamente, isso não quer dizer que os textos explicativos determinam mecanicamente nossas concepções

acerca do mundo. No entanto, nosso pressuposto é de que as explicações científicas moldam fundamentalmente o modo como os indivíduos falam e pensam sobre os fenômenos naturais. A noção de “texto”, implicada no termo recurso textual, deriva da teoria de Bakhtin (1986) sobre o uso concreto da linguagem. Na perspectiva desse autor, o texto (escrito ou oral) é “uma unidade de organização básica que estrutura significado, comunicação e pensamento” (Wertsch, 2002, p. 14, nossa tradução). Para Bakhtin, a relação entre texto e enunciado é formulada da seguinte maneira:

por trás de cada texto está um sistema de linguagem. Tudo no texto que é repetido e reproduzido, tudo repetível e reproduzível, tudo o que pode ser dado fora de um dado texto (o dado) se conforma a este sistema de linguagem. Mas ao mesmo tempo, cada texto (enquanto um enunciado) é individual, único e irrepitível, e aqui reside toda a sua significação (o seu plano, o propósito para qual ele foi criado). Este é o seu aspecto que pertence à honestidade, à verdade, à bondade, à beleza, à história. Com relação a este aspecto, tudo repetível e reproduzível prova ser material, um meio para um fim. (Bakhtin, 1986, p. 105, nossa tradução).

Conforme Wertsch tem apontado (1998, 2002), a noção bakhtiniana de texto constitui um caso especial de ação mediada. Nessa perspectiva, os aspectos repetíveis e reproduzíveis do texto constituem uma forma de ferramenta cultural. Ao produzir enunciados concretos, no entanto, esses aspectos do texto são sempre usados por um agente falante de modo único e irrepitível. Além disso, a perspectiva bakhtiniana de texto e de enunciado também envolve a noção de “dialogia” (Bakhtin, 1986). Assim sendo, tomaremos emprestado de Wertsch (2002) a noção de “dualismo funcional”, formulado originalmente por Lotman (1988)²⁷, para analisar as funções referencial e dialógica dos textos científicos. A função referencial, nesse caso, diz respeito ao poder das explicações científicas para se referirem a entidades, processos e fenômenos da natureza. Já a função dialógica, por sua vez, se refere à relação que uma explicação científica pode ter com outras explicações.

Outra importante distinção que importaremos para o modelo de distribuição conceitual é entre explicações específicas e o que Wertsch (2002) chamou de “moldes esquemáticos”. Nesse caso, as explicações específicas envolvem entidades e processos específicos, como os atores (e suas propriedades) e eventos nas “estórias” analisadas por Ogborn et al. (1996). Elas podem envolver diferentes níveis de análise, conforme a distinção de Mortimer (2000) entre enunciados baseados empírica/sensoriamente e enunciados dirigidos por teoria. Além disso, as explicações específicas podem refletir diferentes “padrões temáticos”, conforme a análise

²⁷ Na formulação de Lotman, o dualismo funcional dos textos se refere a sua capacidade de transmitir significados e gerar novos significados (Wertsch, 1991).

linguística de Lemke (1990). Segundo essa formulação, os padrões de interação discursiva (na terminologia de Lemke, o “padrão organizacional”), nos mostra a estrutura dentro da qual o professor e os alunos falam ciência em sala de aula, mas não nos diz nada a respeito de como encontrar a ciência no diálogo. O padrão temático, por sua vez, corresponde ao padrão de conexões entre os significados das palavras em um campo particular da ciência. Em outras palavras, é o padrão de relações semânticas que descreve o “conteúdo temático” (ibid.).

Os moldes *explicativos* esquemáticos, por outro lado, seriam formas abstratas de representação explicativa, capazes de fornecer um quadro dentro do qual diferentes explicações específicas podem ser “encaixadas”. Os moldes esquemáticos são abstraídos do uso repetido de formas explicativas padrão, produzidas pelas aulas de ciências, pelos meios de comunicação e assim por diante. A ideia básica por detrás dos moldes explicativos esquemáticos é que eles produziriam réplicas que podem variar em seus detalhes, mais que refletem uma linha argumentativa singular. A ideia de moldes esquemáticos é plenamente compatível com a noção de “quadros explicativos” (*explanatory frameworks*), formulada por Vosniadou (2002)²⁸. De acordo com essa autora, os quadros explicativos são sistemas conceituais que os indivíduos formam para interpretar suas observações do mundo físico, além das informações que ele recebe da cultura. Eles são constituídos de certos pressupostos ontológicos e epistemológicos básicos sobre a natureza dos objetos físicos e sobre o modo como eles funcionam no mundo material. As restrições fornecidas por esses pressupostos ontológicos e epistemológicos à interpretação da experiência sensorial, sob a influência da linguagem e da cultura cotidiana, dão lugar a diferentes explicações específicas dos fenômenos. O mais importante para os nossos propósitos é a afirmação de que esses quadros explicativos não estão prontamente disponíveis à consciência humana (Vosniadou, 1994).

Outro aspecto de fundamental importância para o modelo de distribuição conceitual é a questão da “voz” (Bakhtin, 1981) do locutor. Nosso interesse está em como mais de uma voz é refletida na ação explicativa. Tendo em vista que os textos explicativos usados para produzir um enunciado têm sempre um histórico de uso por parte de outros falantes, as concepções em ciências são inerentemente vinculadas a “múltiplas vozes” (Wertsch, 1991). Em outras palavras, é praticamente impossível falar sobre a realidade física sem, com isso, introduzir outras vozes juntamente com a própria voz. O desafio, portanto, consiste em analisar como os agentes coordenam suas vozes com aquelas trazidas juntamente com os recursos textuais que eles empregam (Wertsch, 2008). Em alguns casos, o indivíduo pode

²⁸ Conforme vimos no capítulo 2, Vosniadou também têm se referido a esse construto como “teoria quadro” (*framework theory*).

estar ciente da pluralidade de vozes inerente a esse processo, podendo analisar criticamente como sua perspectiva, ou visão de mundo, entra em contato com a perspectiva de outros. Em outros casos, porém, as ferramentas explicativas permanecem transparentes, e o resultado são performances do tipo apresentado por Laura, conforme descrito no capítulo de introdução desse trabalho.

5 DISTRIBUIÇÃO SOCIAL CONTESTADA: O CASO DA FÍSICA QUÂNTICA

Neste capítulo, algumas afirmações básicas de nosso modelo de distribuição conceitual são ilustradas a partir de exemplos extraídos da física quântica. O objetivo é destacar o papel da mediação textual na formação de concepções científicas e ilustrar a afirmação de que diferentes grupos podem gerar diferentes representações da realidade, mesmo na comunidade científica. A física quântica é talvez o melhor exemplo de disputa e contestação sobre a realidade física, tanto no contexto da pesquisa científica quanto do seu ensino, mas a ideia é que a noção de “distribuição social contestada” pode ser igualmente aplicada em outros domínios, tais como a biologia ou a cosmologia. Conforme o historiador Helge Kragh tem apontado, “[q]uase todos os casos da história da ciência demonstram a dificuldade em obter consenso, as controvérsias, a interação com forças externas e as bases metafísicas sobre as quais muitos argumentos científicos repousam” (Kragh, 1992, p. 350, nossa tradução) e muitas disputas científicas podem ainda estar em aberto.

Inicialmente, apresentamos uma síntese da história sociocultural da contestação nos debates acadêmicos sobre física quântica, a partir do estudo de fontes secundárias da história da ciência. A seguir, discutimos o processo de produção das explicações científica nos cursos de graduação e apresentamos uma comparação entre as explicações fornecidas por livros introdutórios de física quântica, publicados antes e após a institucionalização da controvérsia (Freire, 2003). Finalmente, apresentamos alguns exemplos extraídos do contexto de sala de aula e de entrevistas realizadas com graduandos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O objetivo é ilustrar o compromisso dos estudantes com uma visão particular da realidade microscópica e mostrar como processos de disputa e contestação podem emergir em sala de aula quando os alunos são expostos a outras visões concorrentes. É importante destacar que os exemplos apresentados na seção 5.3 não formam um estudo empírico detalhado, com metodologia e dispositivo de análise bem definidos. A construção de um dispositivo analítico e o desenho de uma metodologia compatível com o nosso modelo de distribuição conceitual constituem a próxima etapa de nossa pesquisa, que deverá ser desenvolvida ao longo dos próximos anos.

5.1 A história sociocultural da contestação em física quântica

No capítulo de introdução do presente trabalho, mencionamos que as pesquisas em mudança conceitual têm colocado, de um modo geral, as concepções científicas em oposição às ideias do senso comum. Num primeiro momento, esses estudos defendiam a erradicação

completa das concepções alternativas, buscando substituí-las por concepções mais adequadas, científicas. Posteriormente, os educadores em ciência passaram a reconhecer a possibilidade de coexistência de duas ou mais concepções contraditórias dentro da ecologia conceitual do indivíduo. Constatou-se que a aprendizagem de conceitos científicos não leva o estudante ao abandono de suas concepções espontâneas (Galili & Bar, 1992). Além disso, a linguagem cotidiana é vista como uma forma de se expressar sobre o mundo que permite a comunicação de diferentes grupos dentro de uma mesma cultura (Mortimer, 2002). Assim, o objetivo do ensino de ciências passou a ser o de diferenciar conceitos científicos das ideias do senso comum e compreender quando uma ou outra concepção é adequada, dependendo do contexto (Linder, 1993). A partir dessa perspectiva, conclui-se que as concepções alternativas têm seu próprio domínio de validade.

No entanto, essa abordagem às concepções em ciências tem levado a uma imagem na qual as concepções científicas são vistas como sendo universalmente aceitas entre os membros da comunidade científica. Mesmo quando se reconhecem a presença de ideias conflitantes na ciência, como no caso da física clássica e da mecânica quântica, por exemplo, ainda assim se considera que há um amplo consenso entre os físicos com relação a essas duas formas de descrever a realidade; formas estas que são utilizadas em diferentes contextos, dependendo dos seus respectivos domínios de validade. Essa abordagem, no entanto, não deixa espaço para disputa e contestação sobre a natureza da realidade física.

Os casos de disputa e contestação, na ciência, são usualmente discutidos na literatura sob o título de “controvérsias” (ver, por exemplo, Engelhardt & Caplan, 1987). De acordo com Giere (1987), controvérsia é uma disputa prolongada entre indivíduos ou grupos acerca de alguma questão de interesse comum. Essa definição caracteriza a controvérsia como um fenômeno social – o que significa que ela não pode ser meramente reduzida a uma categoria lógica, como a existência de proposições contrárias, nem a uma categoria psicológica, como a existência de crenças conflitantes. De acordo com esse autor:

Sendo um fenômeno social, qualquer controvérsia tem uma história. Há um período de tempo antes de qualquer disputa sobre o assunto em questão tomar lugar, seguido de um período durante o qual a controvérsia se inicia. Então, vem um período de desenvolvimento ativo; eventualmente, a controvérsia termina e não há mais uma disputa (Giere, 1987, p. 127, nossa tradução).

Em um número especial da *Science & Education*, Freire (2003) apresentou uma análise histórica da controvérsia sobre a interpretação da mecânica quântica. Apoiado nos escritos de Max Jammer (1974), o autor identificou três períodos nessa história. O primeiro

deles, que se estende até o início dos anos 50, se caracteriza por aquilo que Jammer chamou de “quase incontestada monocracia da escola de Copenhague” (op. cit., p. 250). O segundo período, que constitui uma fase de transição, é marcado por oposições à visão ortodoxa, das quais os melhores exemplos são provavelmente a interpretação causal de Bohm, a visão mentalística de Wigner e a teoria dos estados relativos de Everett (Freire, 2004). O terceiro período, que inclui os dias atuais, se caracteriza pela mudança de atitude da comunidade de físicos, que passou a reconhecer a controvérsia na interpretação da mecânica quântica não mais como uma mera querela filosófica, mas sim como uma legítima controvérsia científica (Freire, 2003).

5.1.1 A emergência de uma interpretação oficial da mecânica quântica

O primeiro período da história da “controvérsia quântica” (Freire, 2003) é marcado pelo surgimento de um “discurso de autoridade” (Bakhtin, 1981) nos debates científicos sobre os fundamentos da mecânica quântica. Esse período tem como marco inicial o 5º congresso de Solvey, que encerrou com uma ampla adesão da comunidade de físicos à interpretação da complementaridade formulada por Niels Bohr. De acordo com a análise de Jammer (1974), apesar das oposições à visão de Bohr, levantados por físicos como Einstein e Schrödinger, a vasta maioria dos cientistas aceitou a interpretação da complementaridade sem ressalvas, pelo menos durante as primeiras duas décadas após sua concepção. Essa interpretação, promulgada pelos representantes da escola de Copenhague, passou a ser considerada “a interpretação oficial da mecânica quântica” (Pinto, 2010).

O termo “interpretação de Copenhague” foi introduzido por Heisenberg, nos anos 50, com o objetivo de apoiar “o mito da monolítica ‘escola de Copenhague’ atuando como a guardiã da ortodoxia quântica” (Osnaghi, Freitas, & Freire, 2009, p. 99, nossa tradução). Esse termo foi criticado por Léon Rosenfeld, um colaborador de Bohr, por admitir a existência de outras interpretações. Em uma correspondência para David Bohm, nos anos 50, Rosenfeld escreveu: “eu certamente não entrarei em qualquer controvérsia com você, ou com qualquer outra pessoa, sobre o assunto da complementaridade, pela simples razão de que não há o menor ponto controverso sobre isso”²⁹. Nos anos 70, Rosenfeld foi ainda mais longe ao escrever: “não apenas [...] é fútil falar de duas escolas de Copenhague; mais é mesmo errado falar de uma escola de Copenhague; nunca houve tal coisa e eu espero que nunca exista. A

²⁹ Léon Rosenfeld para David Bohm, 30 de maio de 1952, como citado em Freire (2005, p. 13), nossa tradução.

única distinção é entre físicos que entendem a mecânica quântica e aqueles que não a entendem”³⁰.

Apesar da suposta “monocracia” da escola de Copenhague, a posição defendida por Bohr e seu grupo nunca representou uma posição unívoca. Mesmo dentro do círculo de Bohr, havia interpretações divergentes de sua visão, resultando em “outras posições ortodoxas” (Pessoa, 2003). Apesar da existência de importantes diferenças nos posicionamentos de Bohr, Heisenberg, Born, Pauli e Jordan, todos eles compartilhavam certos aspectos em comum. Todos eles endossavam o indeterminismo e a natureza discreta e indivisível dos fenômenos atômicos. Além disso, todos eles acreditavam firmemente na completude da teoria quântica. Eles também eram todos defensores do caráter revolucionário da teoria quântica, sendo assim bastante resistentes a qualquer tentativa de restaurar noções clássicas como a causalidade ou a visualização dos objetos microscópicos. Para eles, a grande questão levantada pela mecânica quântica não era de interpretação, mas sim de epistemologia. O interesse deles estava em como a nossa visão de conhecimento físico deve ser modificada para acomodar as implicações da descoberta do quantum de ação (Osnaghi et al., 2009).

Para entender a fraca influência provocada pelas críticas levantadas por Einstein e por Schrödinger, nos anos 30, é necessário levar em consideração o fato de que a grande maioria dos físicos, mesmo os que apoiavam a complementaridade, enxergava tais críticas como o resultado de disputas estritamente filosóficas sobre ontologia (ondas, partículas, etc.) e sobre epistemologia (o papel do determinismo, a completude das teorias, etc.), sem implicações diretas para o desenvolvimento da ciência. Metafísica passou a ser o termo usado para denotar tais disputas, sempre com conotação pejorativa. É importante destacar que as críticas mencionadas acima envolviam as principais questões que posteriormente passaram a constituir a agenda da controvérsia quântica. No famoso argumento do gato de Schrödinger, é possível encontrar indícios do problema da medição e do problema da transição clássico-quântico³¹. No citadíssimo artigo de EPR³², os autores demonstraram sua insatisfação com a defesa da completude da teoria quântica, com a implícita não-localidade presente no seu formalismo e com o abandono do determinismo clássico (Freire, 2003).

Diversos fatores contribuíram para que questões de interpretação fossem vistas como “querelas filosóficas” (Freire, 2003) durante esse primeiro período. Nos Estados Unidos, por exemplo, país onde as questões de interpretação nunca foram muito populares, essa situação

³⁰ Léon Rosenfeld para Frederik Belinfante, 22 Junho de 1972, como citado em Osnaghi et al. (2009, p. 100, nossa tradução).

³¹ A tradução para o inglês do artigo de Schrödinger de 1935 pode ser encontrada em Wheeler e Zurek (1983).

³² Einstein, Podolsky e Rose (1935).

se agravou ainda mais com o impressionante desenvolvimento da física, guiado, de um lado, pela necessidade de aplicar a nova teoria quântica aos mais diversos domínios e, de outro, pela busca de objetivos militares (Osnaghi et al., 2009). Na visão de Kaiser (2002), a necessidade de ensinar física para um público maior, após a segunda guerra mundial, mudou o modo como a mecânica quântica era ensinada – com as salas de aulas lotadas, reflexões interpretativas deram lugar a aplicações da teoria e o conteúdo passou a ser ensinado o mais brevemente possível. Na análise de Freire (2004), os físicos, em geral, não aderiram conscientemente à interpretação da complementaridade. O que eles fizeram, de fato, foi usar a maquinaria quântica para escrutinar o mundo microscópico.

Seguindo a análise de Heilbron (2001), Freire (2004) afirmou que “o sabor filosófico” da interpretação de Bohr foi o fator responsável pela indiferença britânica e norte-americana frente à complementaridade. Com base nos escritos de Schweber (1986), o autor apontou duas peculiaridades do contexto dos Estados Unidos: a presença de físicos teóricos e experimentais no mesmo departamento, reforçando a experimentação e a aplicação da teoria, e as tendências norte-americanas frente ao pragmatismo. Enquanto alguns poucos se envolviam com questões fundamentais, a maioria dos físicos estava preocupada com a extensão e com aplicação da teoria, crenças de que os problemas relativos aos fundamentos já haviam sido resolvidos pelos pais fundadores da mecânica quântica (Freire, 2004, pp. 1757-1758).

De modo geral, era assumido que as características comuns por detrás da interpretação de Copenhague eram transmitidas pela formulação padrão da mecânica quântica, cuja versão mais popular e matematicamente sólida é fornecida pelo livro de von Neumann³³, publicado em 1932. Esse livro também inclui uma prova matemática contra a inclusão de variáveis adicionais no formalismo quântico, algo que foi tomado por muitos como sendo a prova a favor da interpretação de Copenhague (Freire, 2003). Isso chega a ser irônico, visto que von Neumann não era particularmente bem disposto frente à complementaridade (Osnaghi et al., 2009). Além disso, apesar de não ser *a priori* incompatível com as ideias de Bohr, a formulação de von Neumann pode parecer enganosa em muitos aspectos quando considerada do ponto de vista bohriano. Nas palavras de Rosenfeld: “embora excelente em outros aspectos [o livro de von Neumann] tem contribuído com sua infeliz apresentação da questão da medição em mecânica quântica para criar confusões desnecessárias e levantar problemas espúrios”³⁴.

³³ Para uma versão em inglês da referida obra, ver Neumann (1955).

³⁴ León Roselfeld, relatório sobre *La théorie de la mesure en mécanique ondulatoire*, 1957, de Louis de Broglie, como citado em Osnaghi et al. (2009, p. 99, nossa tradução).

De acordo com Osnaghi et al. (2009), a razão pela qual a formulação de von Neumann era tão rotineiramente associada à interpretação de Copenhague está no fato de que aquilo que as pessoas entendiam quando usavam esse termo tinha pouco a ver com a complementaridade de Bohr. Essa falta de entendimento da doutrina bohriana levou a comunidade de físicos a aceitar gratuitamente a existência de uma visão padrão da mecânica quântica, que passou a ser associada ao nome de Bohr muito em função de seu carisma intelectual e do papel que ele desempenhou na construção da teoria. A existência dessa visão ortodoxa e a falta de precisão de sua definição acabaram atendendo as necessidades da maioria dos físicos, que não se importava com questões de fundamentos, contanto que a mecânica quântica pudesse ser eficientemente utilizada para realizar cálculos e experimentos.

Conforme apontaram Osnaghi e seus colegas, essa situação acabou servindo como um cinturão protetor, prevenindo os físicos de serem confrontados com as alegadas falhas nos fundamentos da mecânica quântica, ao mesmo tempo em que podiam se apoiar na indisputável autoridade de Bohr. Em contraste, no lado dos dissidentes, o rótulo “ortodoxo” passou a ser usado para se referir à atitude instrumental de rejeitar qualquer tentativa de fornecer um modelo pictórico coerente do mundo físico. Mesmo sendo uma simplificação dramática da posição de Bohr, essa manobra permitiu que os dissidentes pudessem evitar os aspectos mais sofisticados de doutrina bohriana. No final, vários fatores contribuíram para que a definição de “complementaridade” permanecesse vaga, ao mesmo tempo em que era reforçada a impressão de que uma visão ortodoxa, de fato, existia.

5.1.2 O surgimento de outras vozes na interpretação da mecânica quântica

Apesar de algumas divergências com relação à complementaridade, a monocracia da escola de Copenhague se manteve quase incontestada durante os anos 30 e 40. Einstein não renovou seus ataques após seu artigo de 1935, Schrödinger descartou a sua interpretação ondulatória de 1926 e Broglie abandonou sua teoria da onda-piloto e aderiu à ortodoxia quântica. A década de 50, por outro lado, foi marcada pela “ressurreição dos dissidentes” (Osnaghi et al., 2009). A publicação da obra *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, editada por Schilpp (1949), contendo o debate Einstein-Bohr, contribuiu consideravelmente para a criação de uma atmosfera mais crítica com relação à complementaridade. Schrödinger refinou seus ataques em uma série de artigos, apresentando um novo e sofisticado quadro filosófico para sua interpretação ondulatória. Físicos da nova geração, que não sofreram influência direta da doutrina bohriana, simpatizaram com essas novas críticas.

É importante destacar que as ideias de Bohr circulavam basicamente em congressos e em artigos científicos. Elas não tiveram muita influência na formação acadêmica dos jovens cientistas, que se apoiavam firmemente em livros didáticos. Além disso, o contexto social e cultural da pesquisa básica sofreu mudanças drásticas após a segunda guerra mundial. No Ocidente, o cenário intelectual, resultante da americanização da pesquisa científica, não foi muito favorável ao entendimento das ideias de Bohr, embora isso não produzisse uma atitude hostil imediata. Na União Soviética, porém, essas ideias eram vistas como promovendo tendências idealistas na ciência. Essa situação se acentuou ainda mais no contexto da guerra fria e levou alguns físicos a aderirem à interpretação estocástica ou à interpretação estatística da mecânica quântica, consideradas mais compatíveis com os pressupostos materialistas.

O maior desafio à visão ortodoxa da mecânica quântica, no entanto, veio do físico norte-americano David Bohm (Freire, 2003). Em 1952, ele publicou sua teoria das “variáveis ocultas”, também conhecida como a interpretação causal da mecânica quântica³⁵. No intuito de recuperar o determinismo na ciência, Bohm modificou o formalismo matemático da teoria quântica de modo a construir um modelo de partículas com trajetórias bem definidas; algo que havia sido prevenido pela formulação padrão. Apesar de atrair importantes partidários como o prêmio Nobel Louis de Broglie, que restaurou seu programa da onda-piloto com renovado entusiasmo, a interpretação causal de Bohm não foi amplamente aceita³⁶. Ela foi severamente criticada pelo círculo de Bohr e foi vista com ceticismo por muitos outros físicos (Freire, 2004).

A interpretação causal de Bohm, no entanto, teve um importante efeito colateral na época. Ela despertou o interesse de John Bell, e de outros físicos, para a prova matemática de von Neumann. Na década de 80, Bell escreveu: “Em 1952, eu vi o impossível realizado”³⁷. Em virtude de algumas eventualidades, Bell retomou este problema somente dez anos mais tarde. Ele encontrou as falhas no argumento de von Neumann e mostrou que a contradição entre variáveis ocultas e teoria quântica existe apenas para certas famílias de variáveis ocultas, a saber, variáveis ocultas “locais”. A teoria de Bohm envolve variáveis ocultas não-locais. Esse resultado, expresso nas famosas desigualdades de Bell³⁸, abriu a possibilidade de realização de experimentos que pudesse descartar algumas teorias e preservar outras. Essa possibilidade não foi percebida tão prontamente, mas acabou resultando numa nova agenda

³⁵ Ver Bohm (1952).

³⁶ Um dos fatores que contribuiu para que a teoria de Bohm não se tornasse popular entre os físicos é a falta de resultados novos. Para uma análise da desfavorável recepção da teoria de Bohm, ver Freire (2005).

³⁷ Ver Bohm (1982), como citado em Freire (2003, p. 583, nossa tradução).

³⁸ Ver Bell (1964).

para a física experimental da época, transformando uma querela filosófica em uma legítima controvérsia científica. Em outras palavras, os físicos passaram a discutir a controvérsia quântica sem precisar lidar com questões metafísicas.

Enquanto que na primeira metade dos anos 50 as controvérsias giravam em torno das variáveis ocultas, na segunda metade dessa mesma década o foco passou a ser o problema da medição (Osnaghi et al., 2009). Na formulação de von Neumann, é enfatizado dois tipos de evolução dos estados quânticos: o primeiro, linear e determinístico, governado pela equação de Schrödinger, e a segundo, imprevisível e não-causal, que é quando ocorre o colapso da função de onda. Em 1957, Hugh Everett publicou sua teoria dos “estados relativos”³⁹, que mais tarde ficou conhecida como a “interpretação dos muitos mundos”. Assumindo que o vetor de estado reflete propriedades objetivas do sistema, Everett acreditava que os aspectos probabilísticos da mecânica quântica eram consequência do postulado da projeção. Ao incluir o aparelho de medição (e o observador) na descrição do problema, ele postulou a existência de uma função de onda universal e concluiu que a redução de estado é apenas aparente (i.e., subjetivo), relativo aos estados dos outros sistemas em uma mesma componente da superposição. Do ponto de vista objetivo, nenhum tipo de colapso ocorre: o sistema total continua sendo uma superposição (Freitas e Freire, 2008).

Os estados relativos de Everett era o tema de sua tese de doutorado, desenvolvido sob a orientação de John Wheeler. Antes de sua defesa na Universidade de Princeton, Everett teve uma cópia do seu manuscrito enviada para Copenhague e, alguns dias depois, Wheeler esteve pessoalmente na cidade para discuti-la com Bohr e seus colegas (Osnaghi et al., 2009). Esse encontro tomou a forma de um acalorado debate, cujo resultado foi uma impiedosa crítica às ideias de Everett. Após a aprovação em Princeton, Everett teve sua teoria publicada, mas o impacto de seu artigo foi bastante modesto⁴⁰. Após uma década, Bryce DeWitt publicou um artigo, onde ele apontou a interpretação de Everett como sendo essencial à teoria quântica da gravitação⁴¹. Esse artigo se tornou uma referência em cosmologia, tendo quase mil citações documentadas (Freitas & Freire, 2003). A partir daí, DeWitt publicou uma série de artigos de divulgação e de revisão bibliográfica, além do manuscrito original de Everett, e passou a se referir à abordagem everettiana como a “interpretação dos muitos mundos”, o que levou à sua

³⁹ Ver Everett (1957).

⁴⁰ A tese apresentada em Princeton é uma versão reduzida (36 páginas) do manuscrito original, discutido em Copenhague (Osnaghi et al., 2009). Esse trabalho foi publicado no *Review of Modern Physics* em 1957. Durante os primeiros dez anos, esse artigo não recebeu mais do que vinte citações (Freitas & Freire, 2003).

⁴¹ Ver DeWitt (1967).

popularização. O resultado foi um vigoroso debate, marcado pelo início da redescoberta da teoria de Everett.

Se a teoria causal de Bohm e a teoria dos estados relativos de Everett apresentaram os principais desafios, vindos de fora do círculo de Copenhague, à visão ortodoxa da mecânica quântica, outro grande desafio, vindo de dentro do círculo, foi colocado por Eugene Wigner nos anos 60 (Freire, 2004). Em 1963, Wigner publicou um artigo, revisando o problema da medição em física quântica⁴². Nele, seguindo os passos de von Neumann, Wigner tratou os aparelhos de medição quanticamente, em contraste com a visão de Bohr, que os tratava classicamente. Essa escolha implica a propagação da superposição dos estados quânticos do sistema sob investigação até o conjunto “sistema mais aparelho de medição”. Visto que esse efeito não é observado no mundo macroscópico, Wigner procurou especificar como, quando e onde a redução de estado ocorre e conclui que para eliminar essa superposição é necessário admitir o papel da introspecção do observador. Para ele, a redução de estados ocorre quando a informação é registrada na mente do observador.

O artigo de Wigner foi escrito e publicado após a morte de Bohr em 1962. Nos anos 30 e 40, alguns autores já haviam atribuído ao processo de medição o papel da consciência humana⁴³. Em resposta a essas contribuições, Bohr passou a enfatizar o papel do observador em termos de uma análise pragmática das condições sob as quais é possível adquirir conhecimento objetivo (Osnaghi, et al., 2009). Na abordagem de Wigner, Heisenberg e von Neumann eram os principais protagonistas, e o papel de Bohr foi subestimado (Freire 2004). Seu principal oponente foi Rosenfeld, que passou a defender um grupo de físicos italianos, que explicava as medições quânticas como uma amplificação termodinâmica de um sinal, causada pela interação do sistema físico como o aparelho⁴⁴. Essa disputa se estendeu por toda a segunda metade da década de 60 e o termo “escola de Princeton” passou a ser associada à posição de Wigner. Ao tentar defender o que ele considerava ser a visão ortodoxa da física quântica, Wigner acabou legitimando a heterodoxia, tornando-se, ele próprio, um dissidente.

Atualmente, podemos dizer que as conjecturas de Wigner com relação ao papel da mente no processo de medição quântica não fazem mais parte da física, mas apenas da história da ciência. A interpretação dos estados relativos de Everett permaneceu no escuro durante dez anos, até sua redescoberta em 1967 por DeWitt⁴⁵. A interpretação causal de

⁴² Ver Wigner (1963).

⁴³ Para uma revisão dessas primeiras contribuições sobre o tema, ver Jammer (1974, p. 482).

⁴⁴ Ver Daneri, Loinger e Proserpi (1962).

⁴⁵ De fato, a teoria de Everett tem sido considerada como “um dos segredos mais bem guardados do século” (Jammer, 1974, p. 509, nossa tradução).

Bohm, que teve que enfrentar as críticas por não levar a novos resultados experimentais, foi foco de um renovado interesse nos anos 80, quando um grupo de físicos passou a usar novos recursos computacionais para simular as trajetórias previstas pela teoria bohmiana⁴⁶. É fácil entender como as desigualdades de Bell, e os experimentos que a sucederam, contribuíram para transformar a controvérsia quântica em uma controvérsia científica, em função do forte apelo experimental em física. No entanto, conforme apontou Freire (2004), uma lenta mudança na visão dos físicos com relação aos fundamentos da mecânica quântica já estava ocorrendo durante os anos 50 e 60, o que explica a própria motivação de Bell e a boa receptividade de seu trabalho.

Diversos fatores contribuíram para essa mudança de ânimo na comunidade científica. Um desses fatores é a crescente insatisfação das novas gerações de físicos que mal entendiam a teoria sem uma interpretação. Havia também descontentamento de físicos comprometidos com uma visão realista. De um modo geral, todas essas insatisfações se levantavam contra a complementaridade. Outro problema da nova geração está relacionado ao desaparecimento da maioria dos pais fundadores da teoria quântica, o que pode ter estimulado disputas acerca de suas heranças intelectuais. Por fim, uma terceira influência está relacionada ao contexto social e cultural da segunda metade dos anos 60, uma época em que o apoio da opinião pública aos crescentes orçamentos da física, típico dos tempos de guerra fria nos anos 50, já não tinha a mesma força.

5.1.3 Disputas sobre a realidade física: a institucionalização da controvérsia

O terceiro período da história da controvérsia quântica, que inclui os dias atuais, é caracterizado pelo reconhecimento, por parte da comunidade de físicos, da existência de uma controvérsia científica na interpretação da mecânica quântica (Freire, 2003). Essa legitimação representa uma mudança de atitude da comunidade científica em geral, que passou a ver a controvérsia não mais como uma questão metafísica, mas sim como uma legítima controvérsia científica, com implicações filosóficas. A controvérsia passou a ser institucionalizada através da criação de novos periódicos e congressos destinados a promover o debate. A monocracia da escola de Copenhague, que passou a ser desafiada somente nos anos 50, foi finalmente contestada e derrubada. A complementaridade continua sendo uma interpretação possível (talvez ainda a preferida entre os físicos), mas agora ela precisa competir com suas rivais. Atualmente, parece haver um amplo consenso de que existem

⁴⁶ Ver Philippidis, Dewdney e Hiley (1979).

problemas reais e relevantes a serem resolvidos nos fundamentos da mecânica quântica (Freire, 2004).

A institucionalização da controvérsia sobre a interpretação da mecânica quântica teve início por volta do ano de 1970. Um dos marcos desse processo é a criação da revista *Foundations of Physics*. O objetivo dessa revista era servir de veículo para os debates sobre os fundamentos das ciências físicas, em particular sobre os fundamentos da mecânica quântica. O quadro editorial foi inicialmente composto por físicos que, nas duas décadas anteriores, estavam em lados opostos das disputas, como David Bohm, Louis de Broglie, Eugene Wigner e, próximo à interpretação da complementaridade, Vladimir Fock. Os editores da revista defendiam que a *Foundations of Physics* poderia ser útil à física em geral, e não apenas ao estudo dos seus fundamentos. Cerca de vinte anos mais tarde, foi criada a revista *Foundations of Physics Letters*, que se tornou uma das principais referências no campo dos fundamentos da mecânica quântica.

Também por volta de 1970, os editores da *American Journal of Physics* receberam muito bem a sugestão de DeWitt de publicar uma revisão bibliográfica sobre os fundamentos da mecânica quântica. O artigo foi publicado em 1971, em uma prestigiosa seção da revista chamada *Resource Letters*. Em 1969, DeWitt também abordou o editor da *Physics Today*, perguntando pelo interesse da revista em iniciar um debate sobre a interpretação da mecânica quântica. Nesse contexto, ele se ofereceu para escrever um artigo sobre a interpretação de Everett. Em resposta à carta de DeWitt, o então editor da revista o informou sobre a boa receptividade de sua proposta. Sua conclusão foi a de que: “de fato, eu acho que uma revisão geral de diferentes interpretações da mecânica quântica, sem ênfase especial em qualquer uma delas, seria interessante”⁴⁷. Após a publicação do artigo de DeWitt⁴⁸, a revista publicou no ano seguinte seis cartas apresentando diferentes pontos de vista da teoria everettiana, seguidas de uma réplica de DeWitt⁴⁹. Esse artigo deu origem a uma série de outras cartas debatendo o tema (Freire, 2004).

Um terceiro episódio que marca o começo da institucionalização da controvérsia é um dos tradicionais cursos oferecidos na *International School of Physics “Enrico Fermi”*, organizado pela Sociedade Italiana de Física em 1970. O curso, intitulado *Foundations of Quantum Mechanics*, foi organizado pelo físico francês Bernard d’Espagnat e contou com palestras de alguns protagonistas da controvérsia tais como Wigner, Bell, de Broglie, Bohm,

⁴⁷ R. Hobart Ellis para Bryce DeWitt, 24 de outubro de 1969, como citado em Freitas (2004, p. 1753, nossa tradução).

⁴⁸ Ver DeWitt (1970).

⁴⁹ Ver Ballentine et al. (1971).

entre outros. Em um convite preliminar aos participantes, ele criticou a visão instrumentalista das teorias físicas, descrevendo a controvérsia nos seguintes termos⁵⁰: “provavelmente ficará claro, em poucos dias, que sob um consenso superficial de como usar as regras que aprendemos, nós apresentamos diferenças reais de opinião quanto ao que essas regras se referem”. Uma das regras diplomáticas que ele estipulou para garantir um debate pacífico e criativo durante o curso foi: “Não devemos tomar como nossos objetivos a conversão dos hereges, mas sim um melhor entendimento dos seus pontos de vista”.

Atualmente, não é incomum encontrar artigos sobre os fundamentos da mecânica quântica em uma prestigiosa revista científica. No início deste século, Rowe et al. (2001) publicaram uma carta na revista *Nature*, relatando seus estudos sobre a violação experimental das desigualdades de Bell. O artigo começa com os autores definindo o conceito de “realismo local”. No contexto da educação em ciências, também é possível encontrar evidências da institucionalização da controvérsia. A revista *Science & Education*, por exemplo, promoveu em 2003 um debate sobre os fundamentos da mecânica quântica. No artigo de abertura, Mario Bunge (2003) defendeu a tese de que a interpretação de Copenhague é falsa e precisa ser substituída por uma interpretação realista. Esse número contou com os comentários de Massimo Pauri, John Forge, Jean-Marc Lévy-Leblond, Alberto Cordero, Adrian Heathcote e Marcello Cini, além da resposta de Mario Bunge aos seus comentaristas⁵¹. Nesse mesmo ano, no Brasil, Osvaldo Pessoa Jr. publicou o livro *Conceitos de Física Quântica*⁵², obra em que o autor apresenta quatro interpretações da teoria. Em 2010, Nelson Pinto Neto lançou o seu livro, *Teorias e Interpretações da Mecânica Quântica*⁵³.

5.2 A produção de explicações científicas nos cursos de graduação

Ao analisar as explicações nas aulas de ciências, Ogborn et al. (1996) discutiram a dinâmica entre a “constância” e a “mudança” do conhecimento. De acordo com os autores, o principal mecanismo de estabilidade do conhecimento é o processo de escolarização: “não é por acidente que na escolarização o conhecimento é fortemente policiado; que as maneiras ‘corretas’ e ‘erradas’ de pensar são fortemente demarcadas e recompensadas diferentemente” (op. cit., p. 59, nossa tradução). Ideias semelhantes foram introduzidas na filosofia da ciência

⁵⁰ Ver d’Espagnat (1971), como citado em Freire (2004, p. 1756), nossa tradução.

⁵¹ Esse número especial da *Science & Education* também apresentou um artigo sobre a vida de Mario Bunge (Matthews, 2003), dois trabalhos sobre o ensino de mecânica quântica (Greca & Freire, 2003; Pospiech, 2003), além da análise histórica da controvérsia sobre a interpretação da mecânica quântica de Freire Jr. (Freire, 2003).

⁵² Ver Pessoa (2003).

⁵³ Ver Pinto (2010).

pelo filósofo e historiador norte-americano Thomas Kuhn. No contexto da formação inicial do cientista, Kuhn (1963) afirmou que o objetivo da educação é inculcar nos estudantes aquilo que a comunidade científica adquiriu com grande dificuldade – um compromisso profundo com uma maneira particular de ver o mundo.

Na análise de Kuhn, a principal característica da educação científica é o fato de ela ser realizada quase que exclusivamente através de livros didáticos, que são materiais escritos especialmente para estudantes. Esses textos raramente descrevem o tipo de problema que o futuro profissional terá que enfrentar, ou a variedade de técnicas que a experimentação tornou disponível para a sua solução. Ao invés disso, esses livros exibem, desde o início, soluções concretas de problemas que a profissão passou a aceitar como paradigma. De acordo com o autor, a dependência quase exclusiva em livros didáticos não é a única característica que distingue a educação científica de outras formas de educação. Diferentemente dos livros utilizados em ciências sociais e humanas, que apresentam diferentes abordagens para um mesmo problema, nas ciências naturais diferentes livros correspondem a diferentes conteúdos. Mesmo quando dois livros competem para serem adotados em um único curso, eles normalmente diferem com relação ao nível de abordagem ou a detalhes pedagógicos, mas nunca com relação à estrutura conceitual.

Além disso, na educação científica, os estudantes não são motivados a estudar os resultados imediatos de pesquisa realizada por outros (i.e., comunicações profissionais que os cientistas escrevem para os seus pares), tão pouco são encorajados a ler os clássicos históricos de seu campo. Ao invés disso, eles são solicitados, seja com papel e lápis ou no laboratório, a resolver por si próprios problemas fortemente modelados, em método e substância, naqueles exemplos encontrados no livro didático. Esse trabalho árduo de repetição é tão valorizado na educação científica quanto na alfabetização inicial ou no treinamento de um instrumento musical. Assim como ocorre nesses campos, o objetivo da instrução é produzir com a máxima rapidez “fortes configurações mentais” (Kuhn, 1963, p. 351). Aparentemente, há um consenso entre os cientistas sobre o que cada estudante deve saber em seu campo de estudo e essa é a razão pela qual, ao formular o currículo, eles podem usar livros didáticos ao invés de “amostras ecléticas de pesquisa” (ibid.). A conclusão de Kuhn, portanto, é a de que apesar de a ciência ser geradora de grandes novidades, a educação científica permanece como uma iniciação relativamente dogmática.

Esse padrão de educação científica, no qual um paradigma é transmitido de uma geração de praticantes à geração seguinte, guarda certas semelhanças como o processo pelo qual o estado fornece aos seus cidadãos um relato oficial do passado, principalmente através

da educação em história (Wertsch, 2002). Obviamente, as motivações e os meios para controlar a memória coletiva oficial diferem em muito daqueles envolvidos na formação inicial do futuro cientista. Ainda assim, a análise kuhniana permite uma aproximação entre a educação científica, enquanto formadora de um “dogmatismo científico”, e a educação em histórica, que reflete o interesse do estado em promulgar uma memória coletiva como parte de um projeto de identidade nacional. No caso da educação científica, o interesse da comunidade acadêmica de inculcar um paradigma oficial está em formar pesquisadores que possam operar dentro da “ciência normal” (Kuhn, 1970), concentrando-se exclusivamente nos aspectos mais sutis e esotéricos dos fenômenos de interesse dessa comunidade, sem questionar os princípios e métodos básicos adotados pela sua profissão.

Cabe ressaltar nesse contexto que o princípio fundamental do nosso modelo de distribuição conceitual é a afirmação de que as concepções em ciências, tanto as científicas quanto as alternativas, são mediadas. Ao analisar as concepções em ciências a partir dessa perspectiva, nosso foco recai sobre o papel dos textos explicativos como ferramentas culturais. Sendo que uma forma efetiva de socializar os membros de um coletivo dentro de uma forma particular de ver o mundo é através de recursos textuais adequados, nosso interesse está no processo de formação inicial do professor de ciência. Tendo em vista que os currículos dos cursos de bacharelado em Física são, em grande medida, compatíveis com os currículos de licenciatura, baseados principalmente em livros didáticos, acreditamos que as ideias de Kuhn podem ser igualmente aplicadas nesse contexto. De fato, acreditamos que quando bem sucedida, esse processo pode resultar no tipo de mediação textual transparente que caracterizou a fala de Laura sobre o fenômeno de interferência quântica (ver capítulo 1).

A afirmação de Kuhn de que, nas ciências, “o estudante se baseia principalmente em livros didáticos” (Kuhn, 1970, p. 165, nossa tradução) encontra ressonância com a noção de “comunidades textuais”, formulada por Stock (1990). Na definição do autor, as comunidades textuais são “micro-sociedades organizadas em torno de um entendimento comum de um manuscrito” (op. cit., p. 23, nossa tradução). De acordo com Wertsch (2002), a dinâmica básica dessas comunidades envolve a produção e o consumo de textos, que são os temas centrais do presente capítulo. Com relação à produção das explicações científicas, Ogborn et al. (1996) discutiram as maneiras em que o conhecimento é transformado, em particular o conhecimento que é produzido nas comunidades científicas e, posteriormente, transformado em “ciência escolar”. A título de definição, Wertsch (1991) utilizou o termo “ciência oficial” para se referir à ciência que é ensinada explicitamente no currículo formal. Por questão de coerência teórica, o mesmo procedimento será adotado aqui. De acordo com Ogborn et al.

(1996), o caminho desde a produção do conhecimento nas comunidades científicas até a sua eventual aparição nas salas de aula de ciências é o seguinte.

Fragmentos de possível ‘conhecimento em construção’ são produzidos em artigos originais em periódicos primários. Encontros em congresso expõem novas ideias e procuram qualquer consenso emergente sobre quais resultados parecem corretos e quais parecem errados. Após algum tempo, artigos em periódicos de revisão buscam integrar resultados, mostrar como eles se relacionam, separar o confiável do não-confiável. Mais tarde ainda, monografias aparecem, muitas vezes escritas por líderes no campo que constroem um quadro tão completo quanto possível, com o duplo propósito de arquivar o que é conhecido e apresentá-lo pela primeira vez em uma forma projetada para ser aprendido – principalmente para o benefício de estudantes de pós-graduação e para outros que desejam entrar no campo. No devido tempo, esse material pode ser considerado adequado para cursos de graduação, altura em que livros didáticos começam a aparecer, repletos de problemas e exemplos para os estudantes. Os primeiros textos a aparecerem têm que retrabalhar o conteúdo, ordenando-o e enquadrando-o para a nova audiência. Os textos posteriores geralmente seguem esse formato assim estabelecido. Finalmente, o material é considerado apto para o currículo escolar e os livros didáticos escolares o incorporam, muitas vezes inspirando-se em livros didáticos universitários anteriores (op. cit., pp. 59-60, aspas no original, nossa tradução).

Na tradição francesa, a transformação do conhecimento científico em ciência oficial é usualmente descrito em termos da noção de “transposição didática” (Chevallard, 1997). De acordo com Chevallard, para que o ensino de um elemento de saber seja meramente possível, esse elemento deverá sofrer certas deformações que o tornarão apto para ser ensinado⁵⁴. A transposição didática, portanto, consiste na passagem do “saber sábio” ao “saber ensinado”. O pressuposto básico dessa definição é a afirmação de que o *saber ensinado* é necessariamente distinto do *saber a ensinar*, i.e., do saber inicialmente designado como aquele que deve ser ensinado. O saber a ensinar, por sua vez, é constituído de elementos do *saber sábio*, que corresponde ao saber produzido no contexto da pesquisa científica. Essa última distinção (saber sábio *versus* saber a ensinar) é compatível com a observação de Kuhn de que os livros didáticos científicos recontam as grandes realizações da ciência, “embora raramente na sua forma original” (Kuhn, 1970, p.10, nossa tradução).

Para explicar as transformações do conhecimento que ocorrem no âmbito do saber sábio, Alves, Pinheiro e Pietrocola (2001) usaram a distinção entre “contexto da descoberta” e “contexto da justificação”, elaborada por Reichenbach (1961). De acordo com essa distinção, o *contexto da descoberta* se refere à etapa da investigação em que o pesquisador está em busca da resposta adequada para o seu problema de pesquisa. Após encontrar uma solução

⁵⁴ É importante frisar que, na perspectiva de Chevallard, a mera preparação de uma aula não é, em absoluto, transposição didática. Trata-se de um fenômeno sociológico que envolve uma complexa relação entre o sistema de ensino e o seu entorno, representado principalmente pela opinião pública, especialistas de uma disciplina e representantes políticos. Essa instância onde ocorrem as negociações, Chevallard chamou de “Noosfera”.

que ele considera satisfatória, normalmente através de um processo informal e assistemático, o pesquisador precisa expor sua descoberta para que ela possa ser avaliada, normalmente através da publicação de artigos em periódicos científicos. Essa etapa, intitulada *contexto da justificção*, é caracterizada principalmente pela construção de um texto, que assume uma forma impessoal e sistemática, com início, meio e fim, sem as frequentes idas e vindas, típicas do contexto da descoberta. Já na passagem do saber sábio ao saber a ensinar, o processo de transposição didática envolve um número muito maior de personagens, num movimento de negociação entre as instituições de ensino, agentes do governo e a opinião pública em geral.

No final do século passado, Moreira (2000) apresentou uma retrospectiva do ensino de Física no Brasil, onde ele analisou, entre outras coisas, o ensino de Física nos cursos de graduação. De acordo com esse autor, os cursos de Física, de modo geral, estão dentro do “paradigma do livro”, onde o livro didático é quem determina o nível do curso, a ementa, o programa, a sequência das aulas e o plano de ensino da disciplina. Nas palavras de Moreira, “[o] laboratório parece ser uma obrigação incômoda para muitos professores; o ideal aparenta ser explicar, ou simplesmente repetir, o que está no livro e dar uma lista de problemas aos alunos” (op. cit., p. 95). A partir da análise realizada por Holbrow (1999), Moreira apresentou uma síntese histórica dos livros introdutórios de Física utilizados no ensino de graduação. De acordo com essa síntese, a história começa com o *Tratado de Física*, de Adolphe Ganot, publicado em 1868, e passa pelos livros didáticos de Robert Milikan, de 1902, e de Francis Sears e Mark Zemansky, de 1948, chegando à famosa obra de David Halliday e Robert Resnick. Segundo Moreira, esse último se “tornou patriarca de uma família de textos de Física Geral produzidos desde 1960 quando foi publicado pela primeira vez” (Moreira, 2000, p. 96).

A seguir, apresentamos uma comparação entre dois livros didáticos amplamente utilizados nos cursos introdutórios de física quântica, ambos publicados originalmente na década de 70, e o livro *Conceitos de Física Quântica*, de Osvaldo Pessoa Jr., publicado em 2003. O objetivo é comparar as explicações fornecidas pelos livros didáticos antes e após a “institucionalização da controvérsia” (Freire, 2003). Apesar de o livro de Pessoa Jr. não fazer parte da bibliografia básica adotada nos cursos de física moderna (pelo menos não na universidade onde essa pesquisa foi desenvolvida), nosso interesse nesta obra está no potencial desse recurso textual em transformar a ação mediada, i.e., o modo como futuros professores de Física falam e pensam sobre os fenômenos microscópicos.

A nossa análise dos livros didáticos se baseia na noção de “dualismo funcional dos textos” de Yuri Lotman (1988). De acordo com este autor, os textos podem assumir duas funções distintas: (1) transmitir significados adequadamente; (2) gerar novos significados.

Essa formulação é compatível com a distinção bakhtiniana entre discursos de autoridade e discursos internamente persuasivos (Bakhtin, 1981). A partir da noção de dualismo funcional de Lotman, Wertsch (2002) definiu um dualismo funcional para a memória, cujas duas tendências fundamentais são fornecer um “passado usável” e representar o passado com “precisão”. Da mesma forma, ele adaptou a noção de dualismo funcional para as narrativas, apontando o seu potencial para se referir a personagens, locais e eventos (função referencial) e a sua capacidade de responder dialogicamente a outras narrativas (função dialógica). Assim, tomaremos emprestadas as noções de *função referencial* e de *função dialógica* para analisar o dualismo funcional das explicações em física quântica.

5.2.1 Referencialidade nos textos de física quântica: um exemplo comparativo

Os dois primeiros livros de nossa amostra são *Física Moderna*, de Paul Tipler e Ralph Llewellyn, e *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*, de Robert Eisberg e Robert Resnick⁵⁵. Diferentemente de outros livros de física geral, que apresentam o conteúdo a partir de sua estrutura lógica, os livros mencionados acima apresentam a física moderna numa perspectiva “quase-histórica” (Kragh, 1992), discutindo os conceitos e princípios físicos em ordem cronológica de suas “descobertas” a partir da descrição dos experimentos que levaram a sua confirmação (e.g. o experimento de Davisson-Germer). De acordo com Greca e Herscovitz (2002), esses fatos experimentais “são apresentados cronologicamente com o objetivo didático de persuadir o estudante de que a quantização da energia é uma conclusão ‘óbvia’” (op. cit., p. 328, nossa tradução). Essa abordagem é o resultado de uma espécie de “dualismo funcional” dos textos introdutórios de física quântica que enfrentam “o dilema entre verdade histórica e utilidade didática no ensino de ciência” (Kragh, 1992, p. 360, nossa tradução). O livro de Pessoa Jr., por sua vez, introduz o conteúdo a partir da discussão de certos experimentos contra intuitivos. Embora fortemente embasado em artigos de física experimental, o texto utiliza tais experimentos apenas como recurso pedagógico para introduzir e discutir conceitualmente o comportamento dos sistemas microscópicos em diferentes arranjos experimentais (e.g. interferência de fótons individuais no interferômetro de Mach-Zehnder).

Os livros de Tipler e Llewellyn e de Eisberg e Resnick apresentam diferenças com relação ao nível de aprofundamento com que certos tópicos são tratados. Eisberg e Resnick, por exemplo, dedicam 279 páginas para a discussão dos conteúdos relativos à física quântica

⁵⁵ As obras analisadas são traduções para o português dos originais *Modern Physics*, publicado em 1978, e *Quantum Physics of atoms Molecules, solids Nuclei and Particles*, publicado em 1974.

enquanto que Tipler e Llewellyn utilizam apenas 108 páginas⁵⁶. Além disso, eles apresentam pequenas diferenças com relação à ordem em que os temas são apresentados. Virtualmente, no entanto, os dois livros apresentam os seguintes conteúdos: a radiação de corpo negro; o efeito fotoelétrico; o efeito Compton; os modelos atômicos; as ondas de matéria; a dualidade onda-partícula, o princípio de incerteza; a equação de Schrödinger e suas aplicações. Além disso, ambos os livros apresentam basicamente a mesma interpretação para os fenômenos abordados. Já o livro de Pessoa Jr. apresenta, para cada experimento discutido, quatro interpretações básicas: (1) a *interpretação ondulatória*; (2) a *interpretação corpuscular*; (3) a *interpretação dualista realista*; (4) a *interpretação da complementaridade*. Os conteúdos abordados neste livro são basicamente: a dualidade onda-partícula, a superposição de estados, a redução de estado, a medição em física quântica, os postulados da mecânica quântica e o princípio de incerteza.

Considere as diferentes explicações referentes ao conceito de função de onda, fornecidas pelos livros de Tipler e Llewellyn e de Eisberg e Resnick, de um lado, e de Pessoa Jr., de outro. De acordo com Tipler e Llewellyn:

[a] natureza complexa de Ψ serve para enfatizar o fato de que é inútil tentar responder às perguntas “O que está oscilando em uma onda de matéria?” e “Em que tipo de meio as ondas de matéria se propagam?” A função de onda não passa de um artifício matemático; o que tem significado real é o produto $\Psi^*\Psi = |\Psi|^2$, que representa uma distribuição de probabilidade $P(x,t)$ ou, como também é frequentemente chamado, uma *densidade de probabilidade* (Tipler & Llewellyn, 2001, p. 155, aspas e itálico no original).

O mesmo argumento é apresentado por Eisberg e Resnick em seu livro.

O fato de que as funções de onda sejam funções complexas não deve ser considerado um ponto fraco da teoria da mecânica quântica. Na realidade, esta é uma característica desejável, porque torna imediatamente evidente que não devemos tentar dar às funções de onda uma existência física, da mesma forma que damos a ondas na água. A razão disso é que uma grandeza complexa não pode ser medida por qualquer instrumento físico real. O mundo “real” (usando o termo em seu sentido não matemático) é o mundo das grandezas “reais” (usando o termo em seu sentido matemático).

Portanto, não deveríamos tentar responder, ou mesmo colocar, à questão: exatamente o que é esta onda, e em que ela se propaga? O estudante se lembrará de que a consideração exatamente dessas questões em relação à natureza das ondas eletromagnéticas levou os físicos do século dezenove ao conceito enganador do éter. Como as funções de onda são complexas, não somos tentados a repetir o mesmo erro. Em vez disso, é evidente desde o início que *as funções de onda são instrumentos de cálculos*, que têm significado apenas no contexto da teoria de

⁵⁶ Estamos considerando como “conteúdos relativos à física quântica” todos os temas compreendidos entre a “radiação de corpo negro” e “as aplicações da equação de Schrödinger”.

Schroedinger, da qual elas fazem parte. (Eisberg & Resnick, 1979, p. 182, aspas e itálico no original).

A explicação fornecida pelo livro de Pessoa Jr. sobre o conceito de função de onda (estado quântico, na sua terminologia), por sua vez, leva em consideração quatro diferentes interpretações, conforme mostra a citação abaixo.

Vejamos agora diferentes maneiras de interpretar um estado $|\Psi\rangle$.

1) *Interpretação Ondulatória*. Interpreta $|\Psi\rangle$ de maneira “literal”, atribuindo realidade ao estado ou à função de onda, e sem postular que exista nada além do que descreve o formalismo quântico. Mas que espécie de realidade é essa? Não é uma realidade “atualizada”, que possamos observar diretamente. É uma realidade intermediária, uma *potencialidade*, que estabelece apenas probabilidades, mas que mesmo assim evolui no tempo como uma onda. (Essa noção de potencialidade também é usada por proponentes das visões 2 e 4, a seguir.) O maior problema desta interpretação de estado é que, para N objetos quânticos, a função de onda é definida em um espaço de configurações de $3N$ dimensões! O que significaria uma realidade com $3N$ dimensões?

2) *Interpretação Corpuscular*. A abordagem corpuscular que apresentamos até aqui tem tido extrema dificuldade em dar conta dos aspectos ondulatórios de partículas únicas. Apresentaremos agora uma visão corpuscular mais sofisticada, que chamamos *interpretação de coletivos estatísticos* (em inglês: “ensemble interpretation”). Ela procura escapar dos problemas vistos salientando que o estado $|\Psi\rangle$ utilizado no formalismo da Mecânica Quântica é uma descrição essencialmente estatística, que representa a média sobre todas as posições possíveis da partícula. Em linguagem técnica, o estado representa um coletivo ou ensemble estatístico, associado a um procedimento de preparação experimental. Assim, esta visão considera que o estado quântico representa uma descrição *incompleta* de um objeto individual (tese esta que era defendida por Einstein). A rigor, esta interpretação não entra em detalhes sobre como seria possível completar a Mecânica Quântica, mas na prática ela costuma ser simpática a um modelo exclusivamente corpuscular da natureza.

3) *Interpretação Dualista Realista*. Considera que existam “variáveis ocultas” por trás da descrição em termos de estados, variáveis estas que são partículas com posições e velocidades bem definidas. O estado $|\Psi\rangle$ exprimiria um campo real que “guia” as partículas. Essa “onda piloto”, porém, não carregaria energia, que se concentraria na partícula. A descrição através do estado quântico seria incompleta, só se completando com a introdução dos parâmetros ocultos.

4) *Interpretação da Complementaridade*. Considera que o estado $|\Psi\rangle$ é meramente um instrumento matemático para realizar cálculos e obter previsões (esta visão chama-se *instrumentalismo*). Heisenberg exprimiu isso de maneira radical ao escrever que a mudança descontínua da função de probabilidade é “uma mudança descontínua em nosso conhecimento”, o que constitui uma visão *epistêmica* do estado quântico. A interpretação dos coletivos estatísticos (item 2 acima) também compartilha desta visão; a diferença, porém, está em que a interpretação da complementaridade considera que o estado quântico seja a descrição mais “completa” de um objeto quântico individual. Em comum com a visão 1, não postula nada além do formalismo. (Pessoa, 2003, pp. 24-25, aspas e itálico no original).

A partir dessas “diferentes maneiras de interpretar um estado $|\Psi\rangle$ ”, sugeridas por Pessoa Jr., é possível identificar as explicações de Tipler e Llewellyn e de Eisberg e Resnick como estando apoiadas na interpretação da complementaridade, que classifica as funções de

onda como um mero “artifício matemático”, conforme o texto de Tipler e Llewellyn, ou como “instrumentos de cálculos”, como afirmam Eisberg e Resnick. De fato, esses últimos autores apresentam abertamente sua posição com relação à interpretação da teoria quântica em uma seção intitulada *A Filosofia da Teoria Quântica*: “Niels Bohr foi o principal arquiteto da interpretação atual da mecânica quântica, conhecida como a *interpretação de Copenhagen*. Seu ponto de vista é apoiado pela imensa maioria dos físicos teóricos de hoje” (Eisberg & Resnick, 1979, p. 113, itálico no original). A interpretação da complementaridade, no texto Eisberg e Resnick, pode ser resumida da seguinte maneira.

A mecânica quântica [...] encara as interações entre objeto e observador como a realidade fundamental. Ela usa a linguagem de processos e relações físicas em vez de qualidade e propriedades físicas. Ela rejeita, como sem sentido e sem utilidade, a noção de que por detrás do universo de nossa percepção está escondido um mundo objetivo governado pela causalidade; em vez disso, ela se restringe à descrição de relações entre percepções. (op. cit., p. 114).

Em ambos os livros, a interpretação da complementaridade é usada explicitamente para explicar a dualidade onda-partícula. Ao final do capítulo *Propriedades Ondulatórias das Partículas*, em uma seção denominada *O Dualismo Onda-Partícula*, Tipler e Llewellyn apresentam uma *Leitura Suplementar* sobre o experimento de duas fendas para elétrons. Em um trecho do texto, os autores escreveram o seguinte:

os elétrons são detectados como partículas, mas se propagam como ondas. Em outras palavras, os elétrons se comportam como partículas apenas quando são observados! É isso que significa o dualismo onda-partícula. Esse resultado é conhecido como princípio da complementaridade de Bohr – os aspectos corpuscular e ondulatório são complementares. Ambos são necessários, mas não podem ser observados simultaneamente. Dependendo do arranjo experimental, podemos observar um ou outro aspecto, mas não os dois ao mesmo tempo. (Tipler & Llewellyn, 2001, pp. 146-147, sublinhado no original)

O livro de Eisberg e Resnick também apresenta um capítulo dedicado a esse tópico, intitulado *O Postulado de De Broglie – Propriedades Ondulatórias das Partículas*. Nesse capítulo, em uma seção denominada *A Dualidade Onda-Partícula*, os autores fazem o mesmo tipo de referência ao princípio da complementaridade de Bohr, conforme mostra a transcrição abaixo.

Os físicos clássicos estavam, portanto, bastante despreparados para achar que para entender a radiação precisassem recorrer a um modelo corpuscular em algumas situações, como no efeito Compton, e a um modelo ondulatório em outras, como na difração de raios X. Talvez mais notável seja que essa mesma dualidade onda-partícula se aplica tanto à matéria quanto à radiação. A razão entre a carga e a massa

do elétron e o rastro de ionização que ele deixa na matéria (uma consequência de colisões localizadas) sugerem um modelo corpuscular, mas a difração de elétrons sugere um modelo ondulatório. Os físicos sabem agora que são compelidos a usar ambos os modelos para o mesmo ente. É muito importante notar, no entanto, que em qualquer medida feita apenas se aplica um modelo – os dois modelos não são usados sob as mesmas circunstâncias. Quando o ente é detectado por algum tipo de interação, ele atua como uma partícula, no sentido que é localizado; quando está se movendo, age como uma onda, no sentido que se observam fenômenos de interferência, e, obviamente, uma onda tem extensão, e não é localizada.

Niels Bohr resumiu a situação em seu *princípio da complementaridade*. Os modelos corpuscular e ondulatório são complementares; se uma medida prova o caráter ondulatório da radiação ou da matéria, então é impossível provar o caráter corpuscular na mesma medida, e vice-versa. A escolha de que modelo usar é determinada pela natureza da medida. Além disso, nossa compreensão da radiação e da matéria está incompleta a menos que levamos em consideração tanto as medidas que revelam os aspectos ondulatórios quanto as que revelam os aspectos corpusculares. Portanto, a radiação e a matéria não são apenas onda ou apenas partículas. Um modelo mais geral e, para a mentalidade clássica, mais complicado, é necessário para descrever seu comportamento, embora em situações extremas possa ser aplicado um modelo ondulatório simples, ou um modelo corpuscular simples. (Eisberg & Resnick, 1979, p. 95, itálico no original).

A constatação de que a interpretação oficial transmitida pelos livros introdutórios de física quântica é a interpretação da complementaridade não é algo novo. Bastos (1994), por exemplo, já afirmou no início da década de 90 que “os estudantes ainda aprendem que o que Bohr escreveu em 1927 é a última palavra sobre a questão. Aparentemente, não há oposição” (op. cit., p. 486, nossa tradução). Com relação à dualidade onda-partícula, o livro de Pessoa Jr. apresenta duas versões para este conceito. No capítulo I, denominado *Dualidade Onda-Partícula*, o autor discute o experimento de duas fendas para o caso em que a fonte de luz é bastante tênue. Nesse contexto, o autor introduz a “versão fraca” da dualidade onda-partícula, inspirada na explicação fornecida por Paul Dirac, no livro *The Principles of Quantum Mechanics*: “para qualquer objeto microscópico, pode-se realizar um experimento tipicamente ondulatório (como um de interferência), mas a detecção sempre se dá através de uma troca pontual de um pacote mínimo de energia” (Pessoa, 2003, p. 3). Ao desenvolver essa formulação, o autor fez a seguinte observação.

Notemos que nessa versão fraca, não afirmamos que os fótons ou elétrons sempre são individuais ou pontuais em sua propagação, antes de atingir a tela detectora; apenas afirmamos que *quando eles são detectados* eles aparecem de maneira indivisível e pontual. Se quisermos nos referir a estes pontos sem nos comprometermos com a existência de partículas, podemos chamá-los de “quanta”, ou nos referirmos à ocorrência de um evento.

Por outro lado, também não dizemos que um objeto quântico sempre se comporta como uma onda, mas sim que ele sempre *pode exibir interferência*; ou seja, é sempre possível definir uma montagem experimental (se esta for factível na prática) na qual o objeto exibe um padrão de interferência.

Temos então conjuntamente uma característica ondulatória, a interferência, e uma característica corpuscular, a detecção pontual (“bem localizada”) dos quanta. Como

é possível que um mesmo experimento apresente ambas as características, ondulatória e corpuscular? (Pessoa, 2003, p. 4, aspas e itálico no original).

Para responder à questão colocada acima, o autor novamente recorreu às diferentes interpretações da teoria quântica.

(1) *Interpretação Ondulatória* (consideremos aqui a ideia de Erwin Schrödinger de que os objetos quânticos são na realidade ondas, aproximando-a da visão de John von Neumann que introduz colapsos de onda). Antes da detecção, o objeto quântico propaga-se como onda, mas durante a detecção ele torna-se mais ou menos bem localizado, parecendo uma partícula. Não há mais contradição porque durante um certo tempo temos uma onda espalhada, e *depois* temos uma partícula (ou melhor, um pacote de onda bem estreito), sem que ambos coexistam simultaneamente.

(2) *Interpretação Corpuscular* (defendida por exemplo por Alfred Landé, e mais recentemente por Leslie Ballentine). O fóton e o elétron seriam na realidade uma partícula, o que é manifesto quando o detectamos. Não existe uma onda associada: o padrão de interferência deve ser explicado a partir da interação da partícula com o anteparo que contém as duas fendas. Landé sugeriu que um anteparo cristalino daria “soquinhos” discretos na partícula, resultando no padrão de interferência com bandas discretas.

(3) *Interpretação Dualista Realista* (formulada originalmente por Louis de Broglie, e redescoberta por David Bohm). O objeto quântico se divide em duas partes: uma partícula com trajetória bem definida (mas desconhecida), e uma onda associada. A probabilidade da partícula se propagar em uma certa direção depende da amplitude da onda associada, de forma que em regiões onde as ondas se cancelam, não há partícula. Não há mais contradição porque o objeto se divide em *duas partes*, uma sendo só partícula, e a outra só onda.

(4) *Interpretação da Complementaridade* (elaborada por Niels Bohr). Nesse caso, o “fenômeno” em questão é ondulatório, e não corpuscular, pois não podemos inferir a trajetória passada do quantum detectado (a partir da seção III.2 apresentaremos essa visão com maiores detalhes). O aspecto corpuscular que observamos na detecção se deve ao “postulado quântico” descoberto por Max Planck, e que para Bohr é o fundamento da Teoria Quântica. Este postulado afirma que existe uma *descontinuidade* essencial em qualquer processo atômico, como por exemplo na ionização e átomos de prata na chapa fotográfica devido à ação da luz. (Pessoa, 2003, pp. 5-6, aspas e itálico no original).

No capítulo III, intitulado *Complementaridade de Arranjos Experimentais*, o autor apresenta a “versão forte” da dualidade onda-partícula, baseada na complementaridade de Bohr, que afirma que “[u]m sistema quântico ou exhibe aspectos corpusculares (seguindo trajetórias bem definidas), ou aspectos ondulatórios (como a formação de um padrão de interferência), dependendo do arranjo experimental, mas nunca ambos ao mesmo tempo” (Pessoa, 2003, p. 18).

Finalmente, considere as diferentes explicações referentes ao princípio da incerteza, fornecidas por nossa amostra de livros. De acordo com Tipler e Llewellyn:

As Eqs. 5-27 e 5-28 [$\Delta x \Delta p \sim \hbar$ e $\Delta E \Delta t \sim \hbar$, respectivamente] são as expressões matemáticas do *princípio de indeterminação*, formulado em 1927 por Heisenberg. A Eq. 5-27 expressa o fato de que as funções de distribuição de posição e momento

não podem ser tomadas arbitrariamente estreitas ao mesmo tempo (veja a Fig. 5-16); assim, as indeterminações nas medidas de posição e momento estão relacionadas entre si (Eq. 5-27). Naturalmente, por causa dos erros experimentais, o produto de Δx e Δp geralmente é muito maior do que \hbar . O limite inferior não se deve a nenhuma deficiência dos equipamentos de medida, algo que possa ser resolvido com o progresso da tecnologia; trata-se de um limite intrínseco, associado ao dualismo onda-partícula. (Tipler & Llewellyn, 2001, p. 141, *itálico no original*).

Uma explicação semelhante do princípio de incerteza é fornecida por Eisberg e Resnick em seu livro:

Este princípio, também chamado princípio da indeterminação, tem duas partes. A primeira é relativa à medida simultânea de posição e momento. Ela afirma que uma experiência não pode determinar simultaneamente o valor exato de uma componente do momento, por exemplo p_x , de uma partícula e também o valor exato da coordenada correspondente, x . Em vez disso, a precisão de nossa medida está inerentemente limitada pelo processo de medida em si, de forma tal que $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar/2$ onde o momento p_x é conhecido com uma incerteza de Δp_x , e a posição x no mesmo instante com incerteza Δx . (Eisberg & Resnick, 1979, p. 98).

Já no livro de Pessoa Jr., o autor apresenta, novamente, quatro interpretações básicas para analisar o princípio da incerteza.

Concentremo-nos na relação envolvendo posição e momento, que para partículas com massa, como o elétron (para as quais $p = mV$), envolve as grandezas posição e velocidade. Novamente temos que considerar cada interpretação separadamente.

(1) *Interpretação Ondulatória*. Atribuindo uma realidade apenas para o pacote de onda (sem postular a existência de partículas pontuais), δx mede a extensão do pacote, indicando que a posição x do objeto quântico é indeterminada ou mal definida por uma quantidade δx . As eqs. (XI.2 e 3) [$\delta x \delta p_x \geq \hbar/2$ e $\delta t \delta E \geq \hbar/2$, respectivamente] exprimem assim um princípio de *indeterminação*: se x for bem definido, p_x é mal definido e vice-versa.

(2) *Interpretação Dualista Realista*. Segundo esta visão, a partícula tem sempre x e p_x bem definidos simultaneamente, só que tais valores são desconhecidos. Se medirmos x com boa resolução, temos necessariamente uma *incerteza* ou desconhecimento grande para p_x , pois a medição de x por um aparelho macroscópico provoca um distúrbio incontrolável no valor de p_x .

(3) *Interpretação Dualista Positivista*. Vimos que é impossível um fenômeno ser (100%) corpuscular e (100%) ondulatório ao mesmo tempo. De maneira análoga, é impossível medir x e p_x com resoluções menores do que δx e δp_x dados pela eq. (XI.2). Esta tese parece ser correta, conforme examinaremos nas seções seguintes, apesar de a interpretação 4 (a seguir) negá-la.

(4) *Interpretação corpuscular*. Alguns proponentes da interpretação dos coletivos estatísticos, apresentada nas seções IV.3 e VI.5, afirmam que é possível medir simultaneamente x e p_x , com boa resolução. O que ocorreria é que se prepararmos o mesmo estado quântico $|\Psi\rangle$ várias vezes, e medirmos x e p_x para cada preparação, obteremos valores que variam de uma medição para outra. Ao colocar estes valores em um histograma de x e p_x , obter-se-ão os desvios padrões Δx e Δp_x (Fig. XI.3). Assim, o princípio de incerteza seria exclusivamente uma *tese estatística*, ao contrário do que afirmam as outras interpretações, que também aplicam este princípio para casos individuais. (Pessoa, 2003, pp. 74-75, *itálico no original*).

A partir das citações acima, é possível perceber que as explicações fornecidas pelos livros de Tipler e Llewellyn e de Eisberg e Resnick, de um lado, e de Pessoa Jr., de outro, apresentam importantes diferenças. Obviamente, a mais importante é que as primeiras são formuladas a partir de uma perspectiva única, baseada na interpretação da complementaridade, enquanto que as últimas são povoadas por múltiplas “vozes”. Além disso, as diferentes perspectivas trazidas pelas explicações de Pessoa Jr. assumem diferentes compromissos ontológicos acerca da realidade microscópica (como a existência de ondas, partículas, etc.). Conforme mostram as citações acima, diferentes ontologias podem levar a diferentes relações causais, resultando em diferentes explicações específicas do fenômeno. A explicação da detecção pontual de um quantum, por exemplo, envolve um colapso na interpretação ondulatória, enquanto que na interpretação dualista realista não. Obviamente, há também diferenças epistemológicas nas explicações fornecidas pelas interpretações “realistas” (ondulatória e dualista realista) e “fenomenalistas” (corpuscular e da complementaridade) como, por exemplo, o *status* atribuído ao conceito de função de onda.

5.2.2 Dialogicidade nos textos de física quântica: uma oposição binária

Um olhar atento às explicações fornecidas pelos livros de Tipler e Llewellyn e de Eisberg e Resnick mostram que elas não servem ao único e exclusivo propósito de fornecer uma representação objetiva da realidade física – algo envolvendo o que Wertsch (2001) chamou de “relações de significação de objeto”, correspondente à relação existente entre signos e objetos (função referencial das explicações). Obviamente, existem múltiplas forças influenciando a produção das explicações científicas nos cursos de graduação, forças estas que variam desde motivações econômicas, tornando o texto mais atraente para a sua venda, até preocupações pedagógicas, referentes à abordagem mais adequada para este nível de ensino. No entanto, um aspecto que costuma passar despercebido é a relação que uma explicação pode ter com outras explicações, algo relacionado ao que Wertsch (op. cit.) chamou de “relações de significação textual” (função dialógica das explicações). A partir dessa perspectiva, a chave para entender o significado e a forma de uma explicação é entender como ela fornece uma resposta dialógica para explicações anteriores ou como ela antecipa explicações subsequentes.

Considere, por exemplo, as seguintes explicações sobre a dualidade onda-partícula.

Na física clássica a energia é transportada ou por ondas ou por partículas. Os físicos clássicos observaram ondas de água transportando energia sobre a superfície da

água, ou balas transferindo energia do revólver para o alvo. A partir dessa experiência, eles construíram um modelo ondulatório para certos fenômenos macroscópicos e um modelo corpuscular para outros, e de forma bem natural estenderam esses modelos para regiões visivelmente menos acessíveis. Assim, eles explicaram a propagação do som em termos de um modelo ondulatório e pressões de gases em termos de um modelo corpuscular (teoria cinética). O fato de terem obtido sucesso os condicionou a esperar que todos os entes fossem ou partículas ou ondas. Continuaram sendo bem sucedidos até o início do século XX com as aplicações da teoria ondulatória de Maxwell à radiação e a descoberta de partículas elementares de matéria, tais como o nêutron e o pósitron.

Os físicos clássicos estavam, portanto, bastante despreparados para achar que para entender a radiação precisassem recorrer a um modelo corpuscular em algumas situações, como no efeito Compton, e a um modelo ondulatório em outras, como na difração de raios X. Talvez mais notável seja que essa mesma dualidade onda-partícula se aplica tanto à matéria quanto à radiação. A razão entre a carga e a massa do elétron e o rastro de ionização que ele deixa na matéria (uma consequência de colisões localizadas) sugerem um modelo corpuscular, mas a difração de elétrons sugere um modelo ondulatório. Os físicos sabem agora que são compelidos a usar ambos os modelos para o mesmo ente. (Eisberg & Resnick, 1979, pp. 94-95).

O mesmo tipo de oposição é apresentado no livro de Tipler e Resnick.

Vimos nesse capítulo que os elétrons, inicialmente considerados partículas, exibem as propriedades ondulatórias de difração e interferência. Vimos também, em capítulos anteriores, que a luz, inicialmente considerada um fenômeno ondulatório, apresenta as propriedades de uma partícula em suas interações com a matéria, como no efeito fotoelétrico e no efeito Compton. Na verdade, todos os fenômenos naturais – elétrons, átomos, luz, som – possuem aspectos corpusculares e aspectos ondulatórios. Costuma-se dizer, por exemplo, que os elétrons se comportam ao mesmo tempo como ondas e como partículas. Essa afirmação pode parecer paradoxal para o leitor, já que na física clássica, os conceitos de onda e de partícula são mutuamente excludentes. Uma *partícula clássica* se comporta como uma bala de revólver: pode ser localizada e desviada, transfere energia bruscamente, através de colisões, e não exibe as propriedades de difração e interferência. Uma *onda clássica* se comporta como uma onda do mar: não tem uma localização precisa, transfere energia de forma gradual e exibe as propriedades de difração e interferência. (Tipler & Llewellyn, 2001, p. 145, itálico no original).

Em outra passagem do texto de Eisberg e Resnick, os autores apresentam a seguinte oposição:

na física clássica, as leis básicas (tais como as leis de Newton) são determinísticas, e a análise estatística é apenas um artifício prático para tratar sistemas muito complicados. De acordo com Heisenberg e Bohr, no entanto, a interpretação probabilística é fundamental em mecânica quântica, e deve-se abandonar o determinismo (Eisberg & Resnick, 1979, p. 97).

Finalmente, em outra passagem do texto os autores afirmam o seguinte.

O princípio da incerteza também torna claro que a mecânica dos sistemas quânticos deve necessariamente ser expressa em termos de probabilidades. Na mecânica clássica, se soubermos exatamente a posição e o momento de cada partícula em um

sistema isolado num dado instante, podemos prever o comportamento exato das partículas do sistema em qualquer instante posterior. Na mecânica quântica, entretanto, o princípio da incerteza mostra que isso é impossível para sistemas que envolvem pequenas distâncias e momentos, pois é impossível saber, com a precisão necessária, as posições e os momentos instantâneos das partículas. Em consequência, poderemos apenas fazer previsões sobre o comportamento *provável* dessas partículas. (op. cit., p. 113, itálico no original).

A partir da análise da função dialógica das explicações, é possível perceber que muitas das explicações em física quântica tomam a forma de uma oposição binária, formuladas a partir de extremos opostos tais como clássico/quântico, micro/macro, etc. Assim, a abordagem explicativa adotada nos livros de Tipler e Llewellyn e de Eisberg e Resnick pode ser resumida da seguinte maneira: (1) a física clássica é *determinísticas* enquanto que a física quântica é *probabilística*; (2) na física clássica os conceitos de onda e partícula são mutuamente *excludentes* enquanto que na física quântica esses conceitos são *complementares*; (3) na física clássica a posição e a velocidade de uma partícula são *bem definidos* enquanto que na física quântica estas grandezas são *mal definidas* devido ao princípio da incerteza.

A partir da noção de *dualismo funcional das explicações* é possível entender como a função dialógica das explicações em física quântica pode ser tão influente na produção dos recursos textuais analisados nesse estudo quanto à sua função referencial. Talvez devido à escolha dos autores de apresentar o conteúdo a partir de uma perspectiva “quase histórica” (Kragh, 1992), com demasiadas simplificações e erros históricos, as explicações fornecidas pelos livros de Tipler e Llewellyn e de Eisberg e Resnick envolvem necessariamente uma ruptura, uma negação da física clássica. A partir dessa perspectiva, muitos conceitos da física quântica são apresentados como se eles fossem “antíteses” de conceitos clássicos. Em um importante sentido, as explicações apresentadas pelos livros introdutórios de física moderna fornecem mais informações sobre como a realidade microscópica *não é* do que sobre como esta realidade supostamente é.

5.3 O consumo de explicações científicas na formação inicial de professores

Nesta seção, apresentamos alguns exemplos extraídos do contexto de sala de aula e de entrevistas realizadas com um grupo de graduandos do curso de Licenciatura em Física da UFRGS. Esta etapa do estudo é dividida em duas partes. Inicialmente, mostraremos como um grupo de futuros professores de Física estão comprometidos com uma visão particular da realidade quântica, baseada na interpretação de Copenhague. A seguir, ilustraremos o que acontece quando estudantes formados em uma tradição interpretativa particular são expostos a explicações científicas alternativas, baseadas em visões de mundo concorrentes. Na primeira

parte do estudo, os dados empíricos foram coletados a partir de um teste escrito, aplicado na disciplina A Física do Século XX – A em julho de 2009, e a partir de entrevistas realizadas na disciplina Seminário sobre Tópicos Especiais em Física Geral III em junho de 2010. Quatro estudantes participaram das coletas de dados, sendo dois do sexo masculino e dois do sexo feminino. Estes alunos foram os únicos de A Física do Século XX – A que se matricularam, um ano depois, em Seminários sobre Tópicos Especiais em Física Geral III.

A Física do Século XX – A é uma disciplina exclusiva do curso de Licenciatura em Física da UFRGS, oferecida na quinta etapa da grade curricular. Esta disciplina é compatível com Introdução à Mecânica Quântica, oferecida na maioria dos cursos de Física do Brasil. Trata-se de uma disciplina de quatro créditos semanais e suas aulas foram realizadas durante as terças e quintas feiras pela manhã. A dinâmica das aulas é basicamente constituída de aulas expositivas de quadro e giz, ministradas pelo professor titular da disciplina. Os estudantes recebiam a cada semana uma lista de problemas contendo um resumo do conteúdo a ser discutido em aula. Os conteúdos trabalhados nessa disciplina incluem: a quantização da carga elétrica, a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico, pacotes de ondas e relações clássicas de indeterminação, princípio de incerteza e dualidade onda partícula, modelos atômicos e a difração de raios X, a interpretação probabilística da mecânica quântica, pacotes de ondas na mecânica quântica, a equação de Schrödinger, equação de Schrödinger independente do tempo, poço quadrado infinito em uma dimensão, oscilador harmônico simples, momento angular orbital e spin.

Ao final do semestre letivo (2009/1), os estudantes realizaram uma atividade voltada para a pesquisa. Essa atividade consistiu na resolução de um teste, do tipo papel e lápis, formulado pelo próprio professor da disciplina. O teste continha uma questão conceitual sobre o formalismo da mecânica quântica e um problema de aplicação da equação de Schrödinger para um potencial quadrado infinito. Essa atividade foi realizada em duplas, formadas pelos próprios alunos, e foi permitida a consulta ao material de apoio e à *internet*. As duplas tiveram à sua disposição um microcomputador contendo um microfone e um gravador de som instalado. Os enunciados dos estudantes foram registrados em áudio e, posteriormente, transcritos para análise.

Seminários sobre Tópicos Especiais em Física Geral III, por sua vez, é uma disciplina oferecida na sétima etapa do curso de Licenciatura em Física da UFRGS. Esta disciplina consiste em uma revisão conceitual sobre tópicos introdutórios de física moderna. A dinâmica das aulas é baseada na apresentação de seminários ministrados pelos próprios graduandos. No que se refere a temas específicos de física quântica, forma ministrados seminários sobre: (1) a

dualidade onda-partícula; (2) o princípio de incerteza; (3) a equação de Schrödinger; (4) aplicação da equação de Schrödinger para o potencial degrau; (5) aplicação da equação de Schrödinger para o potencial quadrado finito; (6) aplicação da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio; (7) o spin. Após esta sequência inicial de seminários, foram realizadas entrevistas semi-estruturadas com os estudantes no intuito de explorar suas visões ontológicas e epistemológicas da teoria quântica. Os estudantes foram solicitados a responder questões sobre o princípio de incerteza, sobre a dualidade onda-partícula e sobre a função de onda. As entrevistas foram registradas em vídeo e parte da gravação foi transcrita para análise.

Cabe lembrar que os exemplos apresentados são apenas ilustrações e não formam um estudo empírico detalhado, com metodologia e dispositivo de análise bem definidos. Conforme já mencionamos no início deste capítulo, a construção de um dispositivo analítico e o desenho de uma metodologia compatível com o nosso modelo de distribuição conceitual constituem a próxima etapa de nossa pesquisa, que será desenvolvida a partir de março 2013. Assim, objetivo desta parte do estudo é selecionar algumas vinhetas ou episódios exemplares que possam ilustrar a mediação textual no discurso de futuros professores de Física sobre física quântica.

5.3.1 O domínio de explicações oficiais da física quântica

Em Física do Século XX – A, os estudantes responderam a um teste escrito contendo a seguinte questão sobre o formalismo da mecânica quântica⁵⁷: *Considere, no contexto da mecânica quântica, os seguintes conceitos: estado; representação de estado; operadores; auto-valor e auto-vetor (ou auto-função). Em que estes conceitos se diferenciam quando consideramos a mecânica quântica e a mecânica clássica? Exemplifique.* Com relação às noções de estado e de representação de estado, Diego e Marcelo⁵⁸ responderam o seguinte:

Extrato 01.

01. Marcelo: Pois é, aí a questão é que essa notação complexa, ela só tem sentido quando a gente
02. pega o quadrado disso aí, né. E esse quadrado, ele, ele vai te dar uma probabilidade de
03. um negócio.
04. Diego: Uhum.
05. Marcelo: Aí, não é totalmente determinista como na clássica, né.
06. Diego: É.
07. Marcelo: Que se tu sabe o estado inicial, tu vai saber o final.
08. Diego: Sim.

⁵⁷ Uma análise detalhada dessa atividade é apresentada em Pereira e Ostermann (2012b), ver anexo.

⁵⁸ Os nomes dos estudantes foram alterados no intuito de preservar suas identidades, mantendo-se o gênero de cada aluno.

Outra dupla, formada por Raquel e Rosane, apresentou uma explicação semelhante:

Extrato 02.

01. Raquel: Eu acho, pelo que eu estou vendo aqui, que a diferença é que, tipo, a mecânica clássica
02. ela te dá as informações, tipo, direta, assim, tá tudo bem definido. Enquanto que a
03. mecânica quântica, ela te dá uma interpretação probabilística disso. Porque tu não
04. tem mais, enfim, tudo bem definido.
05. Rosane: Mas a gente precisa, será, comparar cada um assim ou fazemos tudo geral?
06. Raquel: Acho que a gente pode fazer geral porque se a diferença de todos for essa...

As explicações fornecidas pelas duas duplas estão de acordo com a visão geral que é transmitida pelos livros introdutórios de física moderna, o que sugere que os recursos textuais estão fazendo metade do trabalho. Em particular, a tendência dos estudantes de associar o caráter probabilístico da física quântica à falta de definição do estado inicial do sistema, conforme sugere os enunciados do extrato 01 (linha 05-07) e do extrato 02 (linhas 01-04), é plenamente consistente com a explicação de Eisberg e Resnick.

Na mecânica clássica, se soubermos exatamente a posição e o momento de cada partícula em um sistema isolado num dado instante, podemos prever o comportamento exato das partículas do sistema em qualquer instante posterior. Na mecânica quântica, entretanto, o princípio da incerteza mostra que isso é impossível para sistemas que envolvem pequenas distâncias e momentos, pois é impossível saber, com a precisão necessária, as posições e os momentos instantâneos das partículas. Em consequência, poderemos apenas fazer previsões sobre o comportamento *provável* dessas partículas. (Eisberg & Resnick, 1979, p. 113, itálico no original).

Essa conexão fica ainda mais clara a partir dos seguintes enunciados, produzidos por Diego e Marcelo.

Extrato 03.

01. Marcelo: Quem sabe vamos escrever, né, se a gente souber a velocidade e a posição inicial de
02. uma partícula, a gente determina todas as outras posições. Ah, esse exemplo fica bom.
03. Esse exemplo fica bom porque dá pra gente falar o que aconteceria numa situação
04. quântica do mesmo exemplo.
05. Diego: Ta, mas a posição e a velocidade de uma partícula... (escrevendo) *Na mecânica*
06. *clássica... podemos prever...*
07. Marcelo: A trajetória, por exemplo.
08. Diego: (escrevendo) *prever a trajetória.... Na mecânica quântica...*
09. Marcelo: Já na mecânica quântica, não sabemos o estado inicial, por exemplo, a gente não pode
10. saber a posição e a velocidade com precisão.

De modo similar, Rosana e Raquel concluíram o seguinte:

Extrato 04.

01. Raquel: Então tem que dizer isso, que na mecânica quântica, que então seria o mundo do
 02. muito pequeno, falar alguma coisa desse gênero. A gente não tem mais uma, tipo,
 03. tudo gira em torno das probabilidades. A gente não tem mais uma, tipo, a posição e
 04. tal, bem definidas.
 05. Rosane: É, a principal diferença seria que, tipo, na clássica está tudo bem estabelecido e na
 06. quântica tu trabalha com uma ideia de probabilidade.

Mais surpreendente é a sugestão de Raquel, no extrato 02, de que a diferenciação dos conceitos envolvidos no enunciado da questão pode ser feito de modo geral “se a diferença de todos for essa...” (linha 06). Essa desconfiança de que o mesmo tipo de diferenciação pode ser aplicado para os demais conceitos é compatível com o tipo de oposição binária que aparece nos livros introdutórios de física moderna. Conforme argumentamos na seção anterior, além da função referencial das explicações científicas, que corresponde ao seu potencial de se referir a entidades e processos, os textos de física quântica também exercem uma função dialógica, que corresponde à sua capacidade de responder a outros textos explicativos. Nesse caso, essas respostas dialógicas tomam a forma de oposições entre extremos opostos. Essa ideia pode ser ilustrada pelo seguinte seguimento de diálogo.

Extrato 05.

01. Raquel: A gente pode dizer que tem a mecânica clássica, tu tem a mecânica quântica e tu tem a
 02. dualidade, né? Tu tem a onda-partícula. Então, pelo princípio da complementaridade,
 03. tipo (lendo as notas de aula do professor em voz alta) “*os aspectos de partícula e*
 04. *ondulatórios da matéria são complementares uns aos outros uma vez que ambos os*
 05. *aspectos são necessários para compreendermos as propriedades e a natureza da*
 06. *matéria, mas ambos aspectos não podem ser simultaneamente observados com precisão*
 07. *absoluta”.
 08. Rosane: E na física clássica, ou é onda ou é partícula.
 09. Raquel: É. E daí não tem essa dualidade.*

Os enunciados apresentados no extrato 05, acima, são consistentes com as explicações fornecidas por Eisberg e Resnick acerca da dualidade onda-partícula:

nossa compreensão da radiação e da matéria está incompleta a menos que levamos em consideração tanto as medidas que revelam os aspectos ondulatórios quanto as que revelam os aspectos corpusculares. Portanto, a radiação e a matéria não são apenas onda ou apenas partículas. Um modelo mais geral e, para a mentalidade clássica, mais complicado, é necessário para descrever seu comportamento, embora em situações extremas possa ser aplicado um modelo ondulatório simples, ou um modelo corpuscular simples. (Eisberg & Resnick, 1979, p. 95)

A afirmação de Eisberg e Resnick de que “a radiação e a matéria *não* são apenas onda ou partícula” pode eventualmente levar os estudantes a evitarem os termos onda ou partícula. Esse parece ser o caso de Diego, conforme mostra o diálogo a seguir.

Extrato 06.

01. Marcelo: A questão é que essa notação complexa, hum, só pode ser medida quando tomamos o
02. quadrado da função [...]
03. Diego: Isto dando uma probabilidade.
04. Marcelo: É, o que nos dá a probabilidade de encontrarmos a partícula naquele estado físico.
05. Diego: Partícula? Quer dizer, não é partícula. É...
06. Marcelo: O sistema.
07. Diego: O sistema.

Ainda com relação à noção de estado e representação de estado, considere a seguinte explicação fornecida por Raquel e Rosane.

Extrato 07.

01. Rosane: A diferença também é representação de estado. Uma função complexa.
02. Raquel: Ah, é verdade.
03. Rosane: Que na clássica não é.
04. Raquel: É, né, porque a gente tava ali na aula da Teca, daí, tipo, quando tu chega numa...
05. Rosane: Numa resposta imaginária é porque tu não consegue repetir, né?
06. Raquel: Tu não consegue... na verdade ela não está presente no mundo real, que a gente está
07. vivendo, né? Daí a gente pode, a gente pode dar esse exemplo mesmo. Aqui, ó (lendo as
08. notas de aula do professor em voz alta): “*um estado é uma forma abstrata de*
09. *representação das propriedades físicas de um sistema em função do tempo*”. Na
10. mecânica clássica ele é representado por uma função real. Na mecânica quântica, ele é
11. representado por uma função complexa.

A asserção de Raquel, no extrato 07, de que a função de onda complexa “não está presente no mundo real” (linha 06) é consistente com a afirmação de Marcelo, no extrato 01, de que “essa notação complexa, ela só tem sentido quando a gente pega o quadrado disso” (linhas 01-02). Esse compromisso ontológico sobre a função de onda está de acordo com as explicações fornecidas pelos livros adotados na disciplina. De acordo com Tipler e Llewellyn, “a função de onda não passa de um artifício matemático; o que tem significado real é o produto $\Psi^*\Psi = |\Psi|^2$, que representa uma distribuição de probabilidade” (Tipler & Llewellyn, 2001, p. 155). Nas palavras de Eisberg e Resnick, “*as funções de onda são instrumentos de cálculos*, que têm significado apenas no contexto da teoria de Schroedinger, da qual elas fazem parte” (Eisberg & Resnick, 1979, p. 182, itálico no original).

Em entrevistas individuais realizadas em junho de 2010 (um ano depois) na disciplina Seminário sobre Tópicos Especiais em Física Geral III, essa visão instrumental da função de

onda, que é característica da interpretação de Copenhague, se manteve consistente no discurso dos estudantes, conforme mostra este extrato da entrevista de Raquel.

Extrato 08.

01. Entrevist.: Pensa no eletromagnetismo. A gente vai lá, usa a segunda lei de Maxwell e chega à
02. equação de um campo elétrico, por exemplo.
03. Entrevist.2: Equação de onda do campo elétrico e do campo magnético.
04. Entrevist.: Ele tem uma cara: E igual a E_0 , cosseno sei lá o quê. Tem uma equação lá. A gente
05. acredita que aquela função se refere a algo real no mundo.
06. Raquel: Uhum.
07. Entrevist.: A gente acredita que exista um campo elétrico ali, de verdade, e que esse campo elétrico
08. está influenciando o movimento das cargas. Entendeu?
09. Raquel: Sim, sim, sim.
10. Entrevist.: Quer dizer, tem um campo real. Tu acredita que a função de onda na mecânica quântica,
11. ela tem esse...
12. Entrevist.2: Essa mesma conotação.
13. Entrevist.: Essa mesma conotação? Quer dizer, quando tu calcula a função de onda, isso tem no
14. mundo real? Ela está agindo sobre as coisas?
15. Raquel: Eu acho que ela é um argumento matemático.
16. Entrevist.: Um mero instrumento matemático?
17. Raquel: É, eu acho que ela é só um instrumento.
18. Entrevist.2: De onde tu extrai informações do sistema.
19. Raquel: É.

A mesma visão da função de onda pode ser encontrada também no discurso de Diego.

Extrato 09.

01. Entrevist.: A questão é se a função de onda em si, ela existe no mundo real ou se ela é só uma
02. expressão matemática pura.
03. Diego: Eu acho que ela é só uma expressão matemática pura. Ela é uma teoria. Claro, ela tem
04. um significado físico sim. Ela tem uma interpretação física, mas ela só vai fazer sentido
05. depois de ter feito um experimento, uma medida. O que que ela é, a função de onda em
06. si, pra mim, ela é só uma descrição matemática. Ela em si, ela não representa a
07. realidade. Ela vai prever como a natureza vai se comportar num determinado momento,
08. num determinado campo de energia.
09. Entrevist.: Entendi.
10. Diego: Ela em si, pra mim, não existe na natureza.

Com relação à dualidade onda-partícula, as entrevistas individuais com os estudantes sugerem que a visão geral transmitida pelos livros didáticos implica evitar qualquer forma de visualização dos objetos quânticos. Essa visão pode ser encontrada, por exemplo, na fala de Raquel, conforme mostra a transcrição abaixo.

Extrato 10.

01. Entrevist.: Vamos falar um pouquinho de dualidade onda-partícula. Parece ser um assunto
02. importante. Como é que tu entende isso: dualidade onda-partícula. Quer dizer, será que
03. o fóton, o elétron, ele é ao mesmo tempo partícula e onda? Às vezes ele é onda, às vezes

04. ele é partícula? Ele não é nem um dos dois? O que tu entende por isso? Aí, depois a gente até pode até tentar pensar numa situação específica, como a dupla fenda.
- 05.
06. Raquel: É, eu entendo mais por comportamento, assim. Eu não fico pensando muito, hã, numa materialização disso, sabe? Tipo, ah, uma forma de onda, tem uma forma de onda, tem uma forma de partícula, é um pontinho ou é um... Eu fico pensando no comportamento.
- 07.
- 08.
09. Em determinadas situações ele se comporta como uma onda e em determinadas situações se comporta como uma partícula. Mas eu não fico tentando materializar por que isso é nebuloso.
- 10.
- 11.
12. Entrevist.: Tá, e se tu tivesse eu dar aula sobre isso e um aluno pergunta: “*tá, mas afinal de contas o que é um fóton?*”, “*o que é um elétron?*”, “*o que é isso que tu está tentando descrever com essa equação horrorosa?*” (risos).
- 13.
- 14.
15. Raquel: Hum... Ah, tipo, eu acho que eu tentaria fazer com que ele pensasse que nem eu, tipo: “*não materializa, tenta pensar só no comportamento*”. Assim, porque se não tu fica entrando numa neura muito grande. Eu não sei se eu explicaria de fato ou se eu tentaria fazer com que ele visse de outra forma. Eu acho que eu tentaria fazer com que ele visse de outra forma.
- 16.
- 17.
- 18.
- 19.

O mesmo tipo de estratégia discursiva pode ser encontrado na entrevista com Rosane. Após uma descrição detalhada do experimento de dupla fenda para elétrons individuais, o entrevistador fez a seguinte pergunta.

Extrato 11.

01. Entrevist.: Fora o comportamento. Pensa na coisa em si. Pensa no elétron. Tenta “enxergar” o elétron. Ele é uma onda? Ele é uma partícula? Ele é os dois? Ou ele é nenhum? Ele é separado em duas partes?
- 02.
- 03.
04. Rosane: Nunca tinha pensado no elétron nesse sentido. Por que tu vai conseguir observar o comportamento dele, dependendo do tipo de equipamento ou experimento que tu estiver montando. Se tu estiver montando, por exemplo, esse da fenda, ali, tu vai conseguir enxergar o comportamento ondulatório dele.
- 05.
- 06.
- 07.
08. Entrevist.: Tá, mas nesse mesmo experimento, se eu mandar um por um?
09. Rosane: Tu consegue identificar o comportamento de partícula.
10. Entrevist.: Então não depende do experimento. Eu posso ter os dois no mesmo experimento.
11. Rosane: É, verdade. Mas... confuso (Risos).

Essa estratégia de evitar imagens pictóricas dos objetos quânticos, focando apenas no seu comportamento em determinados experimentos, é bastante consistente com a visão geral transmitida nos livros didáticos. Essa visão é a mesma defendida pela escola de Copenhague que, segundo Eisberg e Resnick, “é apoiado pela imensa maioria dos físicos teóricos de hoje” (Eisberg & Resnick, 1979, p. 113). Essa visão “rejeita, como sem sentido e sem utilidade, a noção de que por detrás do universo de nossa percepção está escondido um mundo objetivo governado pela causalidade; em vez disso, ela se restringe à descrição de relações entre percepções” (op. cit., p. 114).

Para finalizar nossa análise das explicações específicas utilizadas pelos estudantes, considere os seguintes comentários sobre o princípio de incerteza. Na entrevista com Raquel, o entrevistador faz a seguinte pergunta, após uma breve discussão sobre o conceito de valor esperado.

Extrato 12.

01. Entrevist.: No teu entendimento, o princípio de incerteza se aplica justamente aos valores
 02. esperados de posição e momento ou ele se aplica a um valor particular de posição e ao
 03. mesmo valor simultâneo de momento?
 04. Raquel: Hum... (pensando).
 05. Entrevist.: Entende? Quer dizer, tem uma relação de incerteza assim: $\Delta x \Delta p$ é maior ou
 06. igual à h , ou enfim... proporcional a h cortado.
 07. Raquel: Uhum.
 08. Entrevist.: Ou h sobre dois π . Mas... Então, esse $\Delta x \Delta p$ é uma incerteza numa medida de
 09. posição, uma certeza numa medida de momento ou ele é justamente o valor esperado da
 10. posição e o valor esperado do momento? Ou seja, a média das posições e a média dos
 11. momentos?
 12. Raquel: Eu acho que é para uma medida. Porque se tu faz uma medida do x , tu não consegue ter
 13. ao mesmo tempo os dois... Eu acho que é de uma medida só.
 14. Entrevist.: Então não se refere à média, aos valores esperados?
 15. Raquel: É.

É interessante notar que mesmo quando os estudantes ficam inseguros com relação à resposta, eles tendem a afirmar que o princípio de incerteza se aplica para medidas individuais de posição e momento.

Extrato 13.

01. Entrevist.: Como é que tu entende o princípio da incerteza? O que tu entende por esse princípio?
 02. Rosane: Acho que eu entendo é que tu não vai conseguir determinar a posição e a velocidade do
 03. elétron no mesmo instante.
 04. Entrevist.: Uhum.
 05. Rosane: Ou tu sabe um ou tu sabe o outro. Tu vai ter sempre associado uma incerteza naquilo,
 06. porque existe uma probabilidade de ele estar bem localizado naquele pedacinho ali.
 07. Entrevist.: Isso para uma única medida? Entende? Porque quando a gente vê as relações de
 08. incerteza, aparece o Δx e o Δp , né?
 09. Rosane: Uhum.
 10. Entrevist.: Isso proporcional a h cortado. E, então, aquele Δx seria...
 11. Rosane: Incerteza na direção.
 12. Entrevist.: Uma única medida?
 13. Rosane: Uma única.
 14. Entrevist.: Ou ele seria, tipo, o valor esperado, uma distribuição, uma média de várias medidas?
 15. Mesma coisa para o momento. No caso, não seria um único valor de momento, mas
 16. seria a média de vários valores de momento, e aí a média?
 17. Rosane: Essa pergunta...
 18. Entrevist.: Entende?
 19. Rosane: Acho difícil...Entendi a pergunta, mas eu acho difícil (risos).
 20. Entrevist.: Tá, mas que tu acha? Tu acha que o princípio se aplica a média de diversas medidas ou
 21. se aplica a uma única medida?
 22. Rosane: Ah, deve ser para uma média de medidas.
 23. Entrevist.: Uma média, então?
 24. Rosane: É. Um conjunto de valores, eu acho.
 25. Entrevist.: Então se eu fizer uma única medida, para aquela media eu posso ter momento e posição
 26. com a precisão que eu queira?
 27. Rosane: Não (risos).

Essa posição defendida por Raquel e Rosane é perfeitamente consistente com a abordagem de Eisberg e Resnick, que afirmam que “uma experiência não pode determinar simultaneamente o valor exato de uma componente do momento, por exemplo p_x , de uma partícula e também o valor exato da coordenada correspondente, x ” (Eisberg & Resnick, 1979, p. 98). Já a explicação fornecida por Tipler e Llewellyn é mais ambígua, já que eles falam sobre “as funções de distribuição de posição e momento” (Tipler & Llewellyn, 2001, p. 141).

Em suma, a visão geral que é transmitida pelos livros introdutórios de física moderna envolve, entre outras coisas, as seguintes afirmações: (a) a função de onda é puramente uma descrição matemática; (b) a dualidade onda partícula se refere apenas ao comportamento dos objetos quânticos; (c) o princípio de incerteza é válido para uma única medida simultânea de posição e momento; (d) a impossibilidade de definição do estado inicial de um sistema é o fator responsável pelo caráter probabilístico da mecânica quântica. A partir da noção de “quadros explicativos”, delineada por Vosniadou (2002), é possível construir o seguinte sistema conceitual mostrado na figura 6.

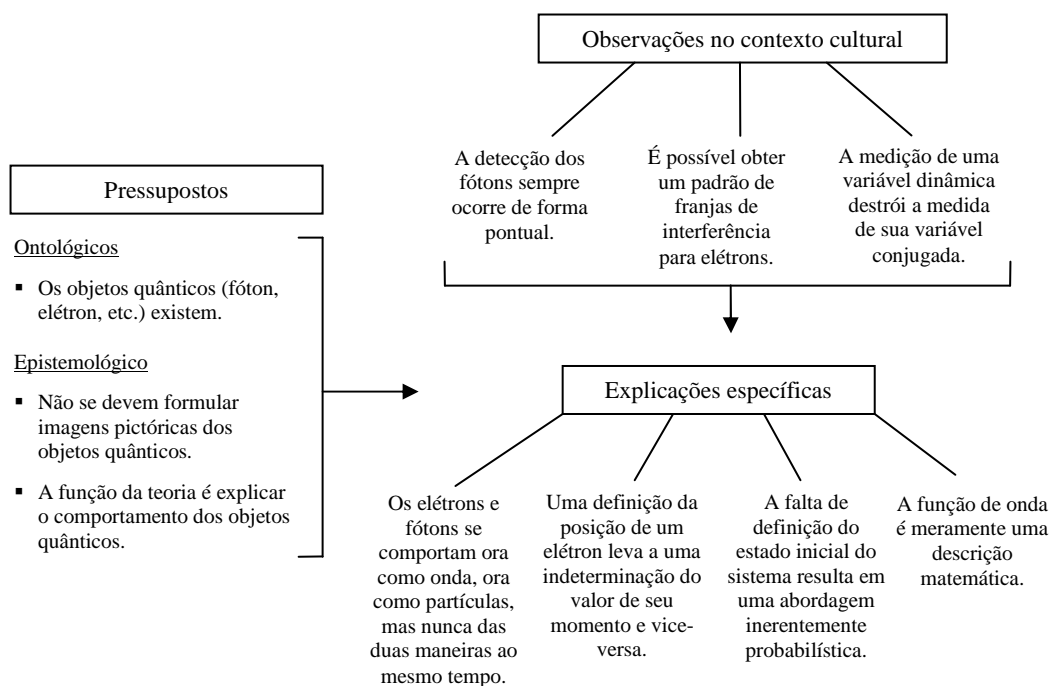


Figura 6. Quadro explicativo hipotético: adaptado de Vosniadou (2002).

As explicações específicas dos estudantes, em geral, parecem se encaixar no sistema conceitual representado pela figura 6. Este pode ser uma primeira aproximação à noção de moldes explicativos esquemáticos, discutido no capítulo anterior (ver seção 4.2.4).

5.3.2 Contestação na sala de aula: um exemplo sobre o princípio de incerteza

Na segunda parte da etapa empírica, os dados foram coletados de um episódio de ensino, ocorrido no contexto de um minicurso sobre as interpretações da física quântica, oferecido às turmas de Seminário sobre Tópicos Especiais em Física Geral III e de História da Física e Epistemologia e ministrado por Osvaldo Pessoa Jr., professor do Departamento de Filosofia da Universidade de São Paulo (USP) e autor do livro *Conceitos de Física Quântica*. Esse minicurso de oito horas, realizado nas manhãs dos dias 15 e 17 de junho de 2010, foi resultado da colaboração do prof. Osvaldo com o nosso grupo de pesquisa. O objetivo era verificar o que acontece quando estudantes que estão sendo formados em uma tradição interpretativa particular são expostos a explicações científicas alternativas, baseadas em visões de mundo concorrentes. Além dos alunos das duas disciplinas, participaram também do minicurso estudantes do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRGS. As aulas do minicurso foram registradas em vídeo e partes das gravações foram posteriormente transcritas para análise. A dinâmica das aulas consistiu-se basicamente de aulas expositivas.

No segundo encontro do minicurso, após uma breve discussão sobre quatro formas de interpretar o princípio da incerteza, Fábio, um aluno do curso de Bacharelado em Física, matriculado na disciplina História da Física e Epistemologia, fez a seguinte colocação.

Extrato 14.

01. Fábio: Pensando no princípio da incerteza com spin. No spin, né, tu faz o experimento de
02. Stern-Gerlach, aí tu faz o teu imã pra ele se separar, fazer um *split* no z . Depois faz,
03. poderia fazer um *split* no x e novamente no z , né? Hã, eu não vejo como o, a visão do
04. ensembles ou do dualista se encaixem nisso. A ideia de que o princípio de incerteza é
05. intrínseco da natureza, eu acho que explicaria melhor esse experimento. Né, porque tu
06. teria... tu estaria medindo tanto o spin no eixo x e no z ao mesmo tempo, né? E isso não
07. ocorre.
08. Prof.: Bom. Pra quem lembrar, você tem um feixe aqui que você prepara num certo estado,
09. que eu vou chamar de spin na direção $+x$, que é pra fora do quadro negro. Você
10. colocando um aparelho de Stern-Gerlach apontado na direção z , você vai ter uma
11. probabilidade de 50% de medir algo aqui, e 50% de medir algo aqui [...] (Após esboçar
12. um desenho no quadro negro e explicar o funcionamento do experimento em questão)
13. Então tá. Esse é o experimento que você propôs, né?
14. Fábio: Isso.
15. Prof.: E agora, qual é o teu comentário?
16. Fábio: Bom, do mesmo jeito que tu tem incerteza com x e p , tu tem incerteza nos spins, nas
17. direções.
18. Prof.: Sim. Então aqui, por exemplo, o spin na direção z está bem definido.
19. Fábio: Está bem definido.
20. Prof.: Mas o da direção x não está, né? Está mal definido, porque, na verdade, a gente pode
21. escrever que o spin na direção z é uma soma de spins na direção x . Então...
22. necessariamente se esse é bem definido, esse aqui já... (interrompido pelo aluno)
23. Fábio: É, mas como é que... (interrompido pelo professor)
24. Prof.: Isso aqui é outra posição, né?
25. Fábio: É, mas o ensemble... naquela visão do ensemble, como é que ele determina essa
26. incerteza? Porque se tu pensar do mesmo jeito que... Bom, tu tem o teu spin, né? Aquele

27. spin é único e ele está lá. Eu vou medir ele para um x e um z .
28. Prof.: É.
29. Fábio: Né? E onde é que entraria minha estatística nisso? Porque, hã... o jeito que eu penso
30. na incerteza é que isso é intrínseco. Né, então na hora que tu faz a medida do z , tu
31. destrói o teu estado do x . Eu penso assim. Mas acho que o pessoal do ensemble não
32. pode pensar assim, né?
33. Prof.: É, a história que eles têm contado é a seguinte: quando essa partícula está com spin na
34. direção $+x$, na verdade ela tem spin na direção z bem definido também. A gente não
35. sabe qual é o valor, mas ela tem.
36. Fabio: A gente não sabe, mas ela tem.
37. Prof.: Quer dizer, como a gente sabe do futuro (apontado para o desenho no quadro) a gente
38. pode até escrever aqui $+z$. E aí, essa partícula vem naturalmente. Como ela já tem esse
39. valor bem definido, ela vai cair aqui em cima.
40. Fábio: Uhum.
41. Prof.: Agora, obviamente... quer dizer, como a gente sabe que aqui, depois, ela pode ser
42. medida tanto em cima como embaixo. A gente não pode supor que ela vai manter o
43. mesmo estado inicial. Ela pode mudar. Então essa interpretação, ela é obrigada a dizer
44. que na interação com o aparelho, o aparelho pode modificar o estado do objeto. É, não
45. foi isso que você perguntou, mas é pra tornar a coisa mais coerente. Então, eles vão
46. dizer, "oh, aqui estava bem definido". Quando chegou aqui e você mediu z , aconteceu
47. por acaso que o x agora ficou $-x$. Ou seja, houve uma perturbação. As medições
48. perturbam o sistema. Essa visão tem que aceitar isso. É verdade que nos anos 30 teve
49. alguns autores, quando estavam ainda tateando nisso, que eles propuseram que esses
50. valores eram bem definidos e que as medições apenas revelam, mas isso não basta.
51. Você tem que supor também que a medição pode alterar o estado. Alterando o estado,
52. agora quando chegou aqui, isso explica por que ele veio para $-x$. Mas, naturalmente,
53. como houve uma outra medição, o estado do spin na direção z pode estar pra cima ou
54. pra baixo. Aí vai depender do acaso. Então tá. Bem, mas o que significa o princípio da
55. incerteza pra eles? Significa⁵⁹ que se eu preparar outro sistema nesse mesmo estado. E
56. como é que eu preparo o sistema nesse mesmo estado? Numa maneira desse tipo assim:
57. Eu faço um experimento desse tipo, eu consigo preparar um sistema num estado
58. definido como $+z$ ou $+x$. O argumento deles é que essa maneira de preparar estados, o
59. estado através da maneira que a gente prepara o sistema. Às vezes a gente prepara, e o
60. que vai acontecer? Mesmo exigindo que o $+x$ seja... mesmo que isso a gente consegue
61. fixar, pode ser que o $+z$ seja agora... pode ser que o spin na direção z esteja diferente. E,
62. claro que, nesse caso, ele vai vir aqui pra baixo. Então a incerteza pra eles é o fato de
63. que o $+z$, nunca... se eu fizer a estatística de vários elétrons, metade mais ou menos vai
64. estar com $-z$ e metade vai estar com $+z$. Então, o princípio da incerteza para essa visão
65. aqui da (interrompido pelo aluno)
66. Fábio: Sim, mas por que ele não considera que o spin no eixo x vai se conservar? Porque se ele
67. considera que velocidades... (interrompido pelo professor)
68. Prof.: Vai dar errado. Porque se ele supuser isso, ele vai errar. Então seria uma versão muito
69. ingênua. Claro, ela tem (interrompido pelo aluno)
70. Fábio: Então, tu não pode medir velocidade e posição ao mesmo tempo. Se ele pensa que na
71. hora de medir, tu vai interferir.
72. Prof.: É, eu concordo com você. Acho que é um bom argumento. Que essa história que eu
73. falei de você jogar... (fazendo um gesto com a mão direita de algo passando)
74. Fábio: As duas ondas ao mesmo tempo.
75. Prof.: É uma proposta que foi feita nos anos 70, mas ninguém levou muito a sério aquilo.
76. Fábio: (Risos irônicos)
77. Prof.: Provavelmente por que... Mas por quê? Talvez, na visão ondulatória tem uma maneira
78. de explicar. Você está dando uma outra... que é, ou não, um ponto interessante que você
79. está apresentado. Um argumento bom pra... (interrompido pelo aluno)
80. Fábio: Eu, pra mim, eu joguei aquela terceira interpretação no lixo.

⁵⁹ Nesse ponto da explicação do professor, Fábio começa a cochichar com seu colega, ao lado, e a emitir pequenas risadas em voz baixa.

Em alguns momentos da fala de Fábio, no extrato 14, a voz da escola de Copenhague aparece tão claramente que alguns ouvintes poderiam se sentir tentados a fazer a seguinte pergunta: quem está falando? A afirmação de que “tu não pode medir velocidade e posição ao mesmo tempo” (linha 70), a ideia de que “o princípio de incerteza é intrínseco da natureza” (linhas 04-05), ou, ainda, o argumento de que uma medida da componente z do spin “destrói o estado do x ”, chegam a ser surpreendentes nesse sentido. Como ocorre para qualquer enunciado, a resposta bakhtiniana à questão acima deve necessariamente ser: pelo menos duas vozes (Wertsch, 1991). Nesse caso, há elementos das transcrições acima que pertencem a esse estudante de Física, que interage com o professor do minicurso no dia 17 de junho de 2010, em uma sala de aula do Departamento de Física da UFRGS. Ao mesmo tempo, no entanto, é possível ouvir as vozes da escola de Copenhague e dos livros de física moderna inspirados na interpretação da complementaridade, livros estes que, de certa forma, foram tão controlados durante os quarenta anos que antecederam a institucionalização da controvérsia quântica (considere, por exemplo, as duras declarações de Rosenfeld, apresentadas na seção 5.1).

Mais surpreendente ainda no episódio acima (extrato 14) é a reação de indignação de Fábio à explicação fornecida pela interpretação dos coletivos estatísticos. A afirmação de que “pra mim, eu joguei aquela terceira interpretação no lixo” é clara nesse sentido. É interessante notar que esse enunciado evidencia um processo de disputa e contestação em sala de aula que não pode ser reduzida à noção de “conflito semântico”, delineada por Lemke (1990), no qual a relação semântica entre os conceitos na fala do professor e do aluno diferem. Nesse caso, a origem do conflito é ideológica. Trata-se de uma disputa científica sobre a ontologia dos objetos quânticos. Uma forma possível de entender esse tipo de reação de Fábio é supor que ele estava tentando ser provocativo ou que ele passou por um processo de “lavagem cerebral”. Essa, no entanto, não parece ser a maneira mais adequada de proceder. De acordo com a abordagem teórica proposta no presente trabalho, a questão fundamental é: de onde ele tirou essa ideia? Essa pergunta pode tornar mais visível o processo de mediação textual que molda as diferentes representações que indivíduos e grupos de indivíduos fazem da realidade física.

5.4 Implicações para a pesquisa em ensino de física quântica

No âmbito da pesquisa em educação em ciências, Ostermann, Prado e Ricci (2008b) têm apontado que tanto no exterior quanto no Brasil, os estudos sobre o ensino de física quântica em nível médio têm focado mais o conteúdo específico, em detrimento de aspectos metodológicos e fundamentos teórico-epistemológicos. Em um trabalho de revisão da

literatura sobre estudos relativos à mecânica quântica introdutória, Greca e Moreira (2001) destacaram que cada físico têm salientado aquilo que considera mais essencial à teoria, formulando seus trabalhos em termos de preferências pessoais com relação aos enfoques adotados. Um problema marcante dessa linha de pesquisa é o fato de que o formalismo da teoria quântica está sujeito a mais de uma interpretação. Ao ignorar esse fato, muitos pesquisadores da área têm formulado seus estudos em termos de “concepções científicas” e “concepções errôneas” (ou alternativa), o que acaba gerando maior confusão para professores de física, tanto para aqueles que estão em serviço como para os que estão em processo de formação inicial ou continuada.

Na Alemanha, por exemplo, Fischler e Lichtfeldt (1992) advogam o que eles chamam de “conceito de Berlim da mecânica quântica”. De acordo com essa visão, a aprendizagem de física moderna torna-se mais difícil quando fazemos uso de conceitos semiclássicos como o dualismo. Um dos pressupostos básicos dessa abordagem é a afirmação de que a interpretação estatística dos fenômenos observados deve ser usada e descrições dualísticas devem ser evitadas. O conceito central na abordagem de Fischler e Lichtfeldt é a noção de incerteza, formulada para um ensemble de objetos quânticos. Na visão dos autores, “[a] demonstração de um padrão de difração ou de interferência, o qual é composto de processos individuais estocasticamente distribuídos, não apenas se livra do problema do dualismo, mas leva diretamente a concepções modernas” (op. cit., p. 184, nossa tradução).

No Brasil, Greca e Herscovitz (2002) também defenderam a não utilização de modelos clássicos ou semiclássicos. Na visão das autoras, porém, o princípio de incerteza se refere à impossibilidade intrínseca do mundo microscópico para a realização simultânea de determinadas medições. Além disso, a dualidade onda-partícula implica aceitar que os objetos quânticos evidenciam às vezes propriedades de partículas clássicas e, em outras situações, características de onda, porém em nenhum caso deve identificar-se com uma ou com outra – i.e., ela implica em abandonar imagens clássicas já definidas. Finalmente, a função de onda contém toda a informação acerca do estado de um sistema e o princípio de superposição implica a possibilidade de coexistência simultânea de estados distintos para o mesmo sistema. Ao classificar os núcleos dos modelos mentais de alunos de engenharia a partir de um teste escrito, as autoras utilizaram como critério de análise a concordância das explicações dos estudantes com as explicações “cientificamente aceitas”.

Conforme vimos na seção 5.1.3, no entanto, a comunidade científica de hoje reconhece e legitima a existência de uma controvérsia científica acerca da interpretação da mecânica quântica. Esse reconhecimento implicou uma institucionalização da controvérsia,

com a criação de periódicos científicos e congressos destinados a promover o debate (Freire, 2003). Assim, os estudos sobre o ensino de mecânica quântica que colocam o problema em termos de concepções “corretas” e “errôneas” (ou alternativas) podem resultar inadequados. Isso porque concepções que são consideradas alternativas do ponto de vista de uma determinada interpretação podem estar corretas do ponto de vista de outra, e vice-versa (considere o caso de partículas com trajetórias bem definidas na interpretação de Copenhague, defendida por Bohr, e na interpretação causal de Bohm). Talvez, a saída para esse problema seja trazer a controvérsia para o ensino de mecânica quântica ao invés de tentar eleger uma determinada interpretação como sendo a “correta” ou a “consensual” entre os físicos.

Uma maneira possível de inserir a controvérsia no ensino de física quântica consiste em apresentar diferentes explicações científicas para o mesmo fenômeno, sem privilegiar uma ou outra interpretação. Essa estratégia está na base da abordagem conceitual de Pessoa Jr. (Pessoa, 2003). Outra possibilidade é adotar uma única interpretação como parte de uma estratégia didática (e.g. Greca e Freire, 2003), mas sempre reconhecendo a existência de outras explicações científicas possíveis. No contexto da formação de professores de Física, no entanto, acreditamos que os estudantes deveriam saber não apenas a versão oficial da mecânica quântica, mas serem expostos a outras explicações científicas, estudando-as seriamente por um tempo. Assim, poderemos contribuir para a formação de professores menos dogmáticos e, conseqüentemente, mais sensíveis a questões relativas a diferenças culturais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral do presente estudo foi reconsiderar o problema da mudança conceitual a partir de uma perspectiva sociocultural. Para atingir tal objetivo, traçamos três objetivos específicos, que consistiram em: (1) revisar os diversos significados do termo mudança conceitual, conforme ele tem sido utilizado na literatura; (2) a partir dessa revisão, delinear um modelo sociocultural de mudança conceitual baseado no uso de recursos textuais, especialmente explicações; (3) finalmente, apresentar exemplos empíricos que possam ilustrar algumas das afirmações básicas derivadas de nosso modelo, em particular as ideias sobre “distribuição social contestada”.

Com relação ao primeiro objetivo específico, propomos no capítulo 2, como forma de estruturar o panorama conceitual no qual a mudança conceitual tem sido discutida, quatro distinções básicas. Tais distinções têm sido debatidas na literatura apenas em isolamento, sendo esta a primeira vez em que elas são analisadas em conjunto, dando maior visibilidade ao panorama geral da pesquisa nesse campo. Essas distinções básicas, ou controvérsias, são as seguintes: (1) abordagem clássica vs. re-enquadrada; (2) abordagem da coerência vs. fragmentação; (3) abordagem racional vs. motivacional; (4) abordagem cognitiva vs. sociocultural. A partir desse panorama, podemos situar nossa pesquisa dentro do grande guarda-chuva que compõe a pesquisa em mudança conceitual. O presente trabalho se enquadra dentro da “divisão cognitivo-situativo” (Vosniadou, 2007a) e está posicionado no lado sociocultural do debate.

Com relação ao segundo objetivo específico, esboçamos, no capítulo 4, um modelo sociocultural de mudança conceitual, baseado na noção de “distribuição conceitual”. A afirmação básica desse modelo – i.e., a tese defendida no presente estudo – consiste na ideia de que as concepções em ciências são mais entendidas como uma forma de ação mediada. O modelo de distribuição conceitual difere de outras teorias de mudança conceitual ao sugerir que diferentes grupos podem gerar diferentes representações da realidade física, mesmo na comunidade científica. A partir dessa perspectiva, as concepções em ciências são vistas como um processo ativo que frequentemente envolve disputa e contestação entre pessoas, mais do que como um corpo estruturado de conhecimento que elas possuem.

Finalmente, com relação ao terceiro objetivo específico de nossa pesquisa, procuramos ilustrar algumas afirmações básicas de nosso modelo a partir de exemplos da física quântica. Consideramos que a física quântica é um caso exemplar de disputa e contestação sobre a realidade física, tanto na pesquisa científica como no seu ensino, devido às mudanças que

ocorreram nos debates sobre seus fundamentos durante a transição da monocracia da escola de Copenhague para a institucionalização da controvérsia (Freire, 2003). Tendo em vista as explicações científicas como ferramentas culturais, apresentamos exemplos referentes ao consumo, ou uso, e a produção das explicações oficiais da física quântica.

Assim, apresentamos uma análise da história sociocultural da controvérsia sobre a interpretação da mecânica quântica. A conclusão dessa análise é que a partir da década de 70, após a morte de vários pais fundadores da mecânica quântica, a comunidade de físicos mudou sua atitude dogmática com relação à interpretação da escola de Copenhague. Esse período é marcado pela redescoberta de interpretações alternativas, tais como a teoria dos estados relativos de Everett, e pelo incentivo a novos espaços para discutir fundamentos de física quântica, em prol da diversidade de interpretações e teorias. Com relação à comparação entre os livros didáticos, é possível traçar, ao nível referencial, importantes diferenças entre as explicações fornecidas pelas obras de Tipler e Llewellyn e de Eisberg e Resnick, de um lado, e aquelas fornecidas pelo livro de Pessoa Jr., de outro. Esta comparação mostra importantes diferenças com relação a pressupostos ontológicos e epistemológicos. Em termos da função dialógica das explicações, no entanto, percebemos uma orientação responsiva nas explicações fornecidas pelos livros introdutórios de física moderna com relação às explicações da física clássica. Como resultado, muitas das explicações em física quântica tomam a forma de uma oposição binária. Finalmente, os exemplos sobre o uso de explicações científicas na formação inicial de professores mostrou que os estudantes dominam as explicações oficiais da física quântica, refletindo a visão geral que é transmitida pelos livros didáticos. Em casos extremos, o confronto com outras visões concorrentes levou a um processo de disputa e contestação em sala de aula que não pode ser reduzido à noção de “conflito semântico” (Lemke, 1990).

Ao longo do presente trabalho, são defendidas três ideias fundamentais. Primeiro, as concepções em ciências são dinâmicas. Essa afirmação está na essência de qualquer esforço em desenvolver uma teoria de mudança conceitual. Em alguns casos, essas mudanças ocorrem mesmo em períodos de “ciência normal” (Kuhn, 1970), como nos mostra a história da institucionalização da “controvérsia quântica” (Freire, 2003). Segundo, as concepções em ciências são um processo ativo. Ao invés de serem uma “coisa” ou uma “possessão”, as concepções em ciências são mais bem entendidas como uma forma de ação mediada, o que significa que ela é fundamentalmente distribuída entre agentes ativos e os recursos textuais que eles empregam – especialmente recursos na forma de explicações científicas. Finalmente, em terceiro lugar as concepções em ciência são essencialmente um fenômeno social. Os meios semióticos usados para representar a realidade física sempre pertencem a um cenário

sociocultural particular e, em virtude disso, refletem uma história e um contexto social. Ao invés de serem recursos neutros, ou associais, as explicações usadas nas concepções em ciências trazem consigo uma perspectiva e uma posição social.

Apesar de responder aos nossos objetivos específicos, nosso estudo apresenta uma série de limitações com relação ao objetivo geral. Conforme Chi e Roscoe (2002) apontaram, qualquer teoria de mudança conceitual deve responder às questões acerca do que são as concepções alternativas e por que elas são tão difíceis de mudar. Nosso estudo não tocou especificamente na questão das concepções alternativas, alertando apenas que o que alguns pesquisadores classificam como concepção alternativa em uma tradição interpretativa pode ser considerada uma concepção científica em outra tradição e vice-versa. Com relação à segunda pergunta, esboçamos uma resposta que consideramos adequada a partir do nosso modelo de distribuição conceitual, mas não lidamos diretamente com essa questão em nossos exemplos empíricos. De fato, não apresentamos sequer um exemplo de “mudança conceitual” nos moldes da abordagem sociocultural. Por fim, ao focar os recursos textuais fornecidos por instituições de ensino superior, deixamos de fora diversos recursos textuais que poderiam estar sendo utilizados pelos graduandos fora do contexto acadêmico. Nesse sentido, filmes de ficção científica e livros paradidáticos, principalmente aqueles relacionados com a onda de misticismo quântico, podem refletir e reforçar o modo como os estudantes representam o mundo microscópico⁶⁰. Essa visão mais cotidiana desses fenômenos estaria mais próxima daquilo que alguns investigadores classificam como “concepções alternativas”.

Como perspectivas futuras, há uma série de questões que não foram contempladas no presente estudo. Estamos interessados, por exemplo, em saber como o contato com novos recursos textuais podem impactar no modo como os estudantes representam a realidade quântica (mudança conceitual ao nível microgenético). Obviamente, não esperamos que um minicurso de oito horas possa causar mudanças significativas, mas estamos interessados em analisar como os estudantes coordenam a sua voz com as vozes trazidas por novos recursos textuais. Nossa hipótese é de que deve haver uma tensão entre “apropriação” e “resistência” (Wertsch, 1998b). Nesse sentido, outras atividades desenvolvidas em Seminários sobre Tópicos Especiais em Física Geral III foram registradas em áudio/vídeo e posteriormente serão transcritas para análise. Conforme já mencionamos anteriormente (ver capítulo 5), nos falta ainda um dispositivo de análise e uma metodologia de pesquisa que seja compatível com o nosso modelo.

⁶⁰ Tentativas de articular os estudos das representações sociais com processos de mediação semiótica podem ser encontradas na literatura (e.g. Fávero, 2005).

Mesmo com relação aos exemplos apresentados neste estudo, nos interessa repetir essa coleta de dados em outras universidades do Brasil e do exterior, que possam basear suas aulas a partir de recursos textuais distintos. Essa experiência poderia lançar luz sobre questões relativas a diferenças culturais na pesquisa em mudança conceitual. Além disso, mesmo no contexto da UFRGS, repetidos estudos com várias outras turmas podem levar a identificação de um possível molde explicativo esquemático, usado neste contexto sociocultural específico. No capítulo 5, apresentamos apenas um esboço de tal molde esquemático, baseado na noção de “quadros explicativos” de Vosniadou (2002). A questão de se tais moldes explicativos esquemáticos existem no ensino de física quântica ou mesmo se tal noção é realmente útil para entender o problema da mudança conceitual é ainda uma questão em aberto. Enfim, esperamos fortemente que nosso modelo de distribuição conceitual possa representar um verdadeiro programa de pesquisa, capaz de lançar luz sobre questões referentes ao ensino de Física, em geral, e ao problema da mudança conceitual, em particular.

REFERÊNCIAS

- Abimbola, O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education*, 72(2), 175-184.
- Aguiar, O., Jr. (2001). Mudanças conceituais (ou cognitivas) na educação em ciências: revisão crítica e novas direções para a pesquisa. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 3(1), 1-23.
- Aikenhead, G. S. (1996). Science education: Border crossing into the subculture of science. *Studies in Science Education*, 27, 1-52.
- Alexander, J. C. (2002). On the social construction of moral universals: The “Holocaust” from war crime to trauma drama. *European Journal of Social Theory*, 4(4), 459–539.
- Alexander, P. A. (2007). Bridging cognition and socioculturalism within conceptual change research: Unnecessary foray or unachievable feat? *Educational Psychologist*, 42(1), 67–73.
- Alves, J. P., Filho, Pinheiro, T. F., & Pietrocola, M. (2001). A eletrostática como exemplo de transposição didática. In M. Pietrocola (Org.). *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora* (pp. 77-99). Florianópolis: Editora da UFSC.
- Arabatzis, T., & Kindi, V. (2008). The problem of conceptual change in the philosophy and history of science. In S. Vosniadou (Ed.). *International handbook of research on conceptual change* (pp. 345-373). New York: Routledge.
- Arruda, S. M., & Villani, A. (1994). Mudança conceitual no ensino de ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 11(2), 88-99.
- Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ausubel, D. P., & Novak, J. D. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (2a ed.). México: Editorial Trillas.
- Bachelard, G. (1968). *The philosophy of No*. New York: The Orion Press.
- Bakhtin, M. M. (1981). *The dialogic imagination: Four essays by M. M. Bakhtin*. Austin: University of Texas Press.
- Bakhtin, M. M. (1984). *Problems of Dostoevsky's poetics*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Bakhtin, M. M. (1986). *Speech genres and other late essays*. Austin: University of Texas Press.

Bakhtin, M. M. (Volochinov, V. N.) (2004). *Marxismo e filosofia da linguagem: problemas fundamentais do método sociológico na ciência da linguagem* (11 ed.). São Paulo: Hucitec.

Ballentine, L. E., Pearle, P., Walker, E. H., Sachs, M., Koga, T., Gerver, J., & DeWitt, B. (1971). Quantum-mechanics debate. *Physics Today*, 24(4), 36-447.

Bartlett, F. C. (1995). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bateson, G. (1972). *Steps to an ecology of mind: A revolutionary approach to man's understanding of himself*. New York: Ballantine.

Bell, J. S. (1964). On the Einstein Podolky Rose Paradox. *Physics*, 1, 195-999.

Bell, J. S. (1982). On the impossible pilot wave. *Foundations of Physics*, 12(10), 989-999.

Bizzo, N. M. V. (1993, August). Misconceptions or social reconceptualizations? The case of evolutionary biology. Paper presented at the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Ithaca.

Bodnar, J. (1992). *Remaking America: Public memory, commemoration, and patriotism in the twentieth century*. Princeton: Princeton University Press.

Bohm, D. (1952). A suggested interpretation of the quantum theory in terms of "hidden" variables, I and II', *Physical Review*, 85, 166-179, 180-193.

Bruner, J. (1990). *Acts of meanings*. Cambridge: Harvard University Press.

Bunge, M. (2003). Twenty-five centuries of quantum physics: From Pythagoras to us, and from subjectivism to realism. *Science & Education*, 12, 455-466.

Burke, K. (1969). *A grammar of motives*. Berkeley: University of California Press.

Caravita, S. (2001). Commentary: A re-framed conceptual change theory? *Learning and Instruction*, 11(4-5), 421-429.

Caravita, S., & Halldén, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 89-112.

Carey, S. (1985a). Are children fundamentally different thinkers than adults? In S. Chipman, J. Segal, & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills* (pp. 485-518). Hillsdale: Earlbaum.

Carey, S. (1985b). *Conceptual change in childhood*. Cambridge: MIT Press.

- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41(10), 1123-1130.
- Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.). *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 129-160). Minnesota: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In M. Limón, & L. Mason (Eds.) *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 3-27). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & Leeuw, N. de. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.
- Chi, M., Glaser, R., & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. Sternberg (Ed.). *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 7-75). Hillsdale: Erlbaum.
- Clark, D. B. (2003). Analyzing student knowledge integration: Theories or pieces? In *Proceedings of the National Association of Research in Science Teaching Conference*. Philadelphia, PA.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-70.
- Cobern, W. W. (1996). Worldview theory and conceptual change in science education. *Science Education*, 80(5), 579-610.
- Cobern, W. W. (2000). The nature of science and the role of knowledge and belief. *Science and Education*, 9, 219-246.
- Cobern, W. W. (2004). Apples and oranges: A rejoinder to Smith and Siegel. *Science & Education*, 13, 2004.
- Cole, J. (2001). *Forget colonialism? Sacrifice and the art of memory in Madagascar*. Berkeley: University of California Press.
- Cole, M. (1990). Cultural psychology: A once and future discipline? In J. J. Berman (Ed.) *Nebraska symposium on motivation, 1989: Cross-cultural perspectives* (pp. 279-335). Lincoln: Nebraska University Press.
- Cole, M. (1995). *Cultural psychology: A once and future discipline*. Cambridge: Harvard University Press.

Cole, M., & Scribner, S. (1978). Introduction. In L. S. Vygotsky. *Mind in society: The development of higher psychological process*. (pp. 1-14). Cambridge: Harvard University Press.

Cole, M., & Wertsch, J. V. (1996). Beyond the individual-social antinomy in discussions of Piaget and Vygotsky. *Human Development*, 39, 250-256.

Concari, S. B. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias. *Ciência & Educação*, 7(1), 85-94.

d'Espagnat, B. (Ed.). (1971). *Foundations of quantum mechanics – Proceedings of the international School of Physics "Enrico Fermi"*. New York: Academic Press.

Daneri, A., Loinger, A., & Prosperi, G. M. (1962). Quantum theory of measurement and ergodicity conditions. *Nuclear physics*, 33, 297–319.

Davson-Galle, P. (2004). Understanding: 'Knowledge', 'belief' and 'understanding'. *Science & Education*, 13, 591-598.

DeWitt, B. (1967). Quantum theory of gravitation. I. The canonical theory. *Physical Review*, 160, 1113-1148.

DeWitt, B. S. (1970). Quantum mechanics and reality. *Physics Today*, 23(9), 155-165.

Dirac, P. A. M. (1930). *The principles of quantum mechanics*. Oxford: Clarendon Press.

diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Foreman, & P. Pufall (Eds.). *Constructivism in the computer age* (pp. 49–70). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2/3), 105-225.

diSessa, A. A. (2002). Why "conceptual ecology" is a good idea. In M. Limón, & L. Mason (Eds.) *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 29-60). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

diSessa, A. A. (2006). A history of conceptual change research: Threads and fault lines. In: R. K. Sawyer (ed.). *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 265-281). New York: Cambridge University Press.

diSessa, A. A. (2008). A bird's-eye view of the "pieces" vs. "coherence" controversy (from the "pieces" side of the fence). In S. Vosniadou (Ed.). *International handbook of research on conceptual change* (pp. 35-60). New York: Routledge.

diSessa, A. A., & Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20(1), 1155-1191.

- diSessa, A. A., Gillespie, N. M., & Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28, 843-900.
- Dole, J. A., & Sinatra, G. M. (1998). Reconceptualizing change in the cognitive construction of knowledge. *Educational Psychologist*, 33(2/3), 109–128.
- Donald, M. (1991). *Origins of the modern mind: Three stages in the evolution of culture and cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- Douglas, M. (1980). Introduction: Maurice Halbwachs (1877–1945). In M. Halbwachs. *The collective memory* (pp. 1-21). New York: Harper & Row.
- Driver, R. (1989). Student's Conceptions and the Learning of Science. *International Journal of Science Education*, 11(5), 481-490.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Duschl, R. A. (1994). Editorial policy statement and introduction. *Science Education*, 78(3), 701-704.
- Duschl, R. A., & Gitomer, D. H. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 839-858.
- Einstein, A., Podolsky, B., & Rosen, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, 47, 777–870.
- Eisberg, R. M., & Resnick, R. (1979). *Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. São Paulo: Editora Campus.
- El-Hani, C. N., & Bizzo, N. (2002). Formas de construtivismo: mudança conceitual e construtivismo contextual. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 4(1), 1-25.
- El-Hani, C. N., & Mortimer, E. F. (2007). Multicultural education, pragmatismo, and the goals of science teaching. *Cultural Studies of Science Education*, 2, 657-702.
- El-Hani, C. N., & Mortimer, E. F. (2010). O Valor Pragmático da Linguagem Cotidiana. Em A. M. O. Cunha, E. F. Mortimer, O. G. Jr. Aguiar, S. S. Nascimento, & M. C. F. Fonseca (Orgs.). *Convergências e tensões no campo da formação e do trabalho docente: educação ambiental, educação em ciências, educação em espaços não-escolares, educação matemática* (pp. 327-350). Belo Horizonte: Autêntica.

Engelhardt, H. T., & Caplan, A. L. (1987). *Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. New York: Cambridge University Press.

Everett, H., III. (1957). "Relative state" formulation of quantum mechanics. *Review of Modern Physics*, 29, 454-462.

Fávero, M. H. (2005). Desenvolvimento psicológico, mediação semiótica e representações sociais: por uma articulação teórica e metodológica. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 21(1), 17-25.

Fischler, H., & Lichtfeldt, M. (1992). Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), 181-190.

Fraassen, B. C., van. (1980). *The scientific image*. Oxford: Clarendon.

Freire, O., Jr. (2003). A story without an ending: The quantum physics controversy 1950-1970. *Science & Education*, 12, 573-586.

Freire, O., Jr. (2004). The historical roots of "foundations of quantum mechanics" as a field of research (1950-1970). *Foundations of Physics*, 34(11), 1741-1760.

Freitas, F., & Freire, O., Jr. (2003). Sobre o uso da *Web of Science* como fonte para a história da ciência. *Revista da SBHC*, 1(2), 129-147.

Freitas, F., & Freire, O., Jr. (2008). A formulação dos 'estados relativos' da teoria quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(2), 2307/1-15.

Furberg, A., & Arnseth, H. C. (2009). Reconsidering conceptual change from a socio-cultural perspective: analyzing students' meaning making in genetics in collaborative learning activities. *Cultural Studies of Science Education*, 4, 157-191.

Galili, I., & Bar, V. (1992). Motion implies force: where to expect vestiges of the misconceptions? *International Journal of Science Education*, 14(1), 63-81.

Geertz, C. (1973). *The interpretation of cultures*. New York: Basic Books.

Giere, R. N. (1987). Controversies involving science and technologies: A theoretical perspective. In H. T. Engelhardt & A. L. Caplan (Eds.). *Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology* (pp. 49-91). New York: Cambridge University Press.

Gilbert, J. (1998). Models in explanation, Part I. Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.

- Gilbert, J. K., & Watts, D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10, 61-98.
- Giordan, M. (2004). Tutoring through the internet: how students and teachers interact to construct meaning. *International Journal of Science Education*, 26(15), 1875-1894.
- Giordan, M. (2006). O computador na educação em ciências: breve revisão crítica acerca de algumas formas de utilização. *Ciência & Educação*, 11(2), 279-304.
- Greca, I. M., & Freire, O., Jr. (2003). Does an emphasis on the concept of quantum states enhance students' understanding of quantum mechanics? *Science & Education*, 12, 541-557.
- Greca, I. M., & Herscovitz, V. E. (2002). Construyendo significados en mecánica cuántica: fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel universitario. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), 327-338.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2001). Uma revisão de literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(1), 29-56.
- Greene, J. C. (1975). Reflections on the Progress of Darwin Studies. *Journal of the History of Biology*, 8(2), 243-273.
- Greeno, J. G. (1989). A perspective on thinking. *American Psychologist*, 44(2), 134-141.
- Greeno, J. G. (1997). On claims that answer the wrong questions. *Educational Researcher*, 26(1), 5-17.
- Greeno, J. G., & Sande, C. van de. (2007). Perspectival understanding of conceptions and conceptual growth in interaction. *Educational Psychologist*, 42(1), 9-23.
- Greeno, J. G., Collins, A. M., & Resnick, L. B. (1996). Cognition and learning. In D. C. Berliner, & R. C. Calfee (Eds.). *Handbook of educational psychology* (pp. 15-46). New York: McMillan.
- Gregoire, M. (2003). Is it a challenge or a threat? A dual-process model of teachers' cognition and appraisal process during conceptual change. *Educational Psychology Review*, 15, 117-155.
- Guzzetti, B., & Hynd, C. (1998). *Perspectives on conceptual change: multiple ways to understand knowing and learning in a complex world*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hacking, I. (1983). *Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Haeckel, E. (1874). *The evolution of man: A popular exposition of the principal points of human ontogeny and phylogeny*. New York: International Science Library.

Halbwachs, M. (1980). *The collective memory*. New York: Harper and Row.

Hall, G. S. (1906). *Youth, its education, regimen, and hygiene*. New York: D. Appleton.

Handler, R. (1994). Is “identity” a useful cross-cultural construct? In J. R. Gillis (ed.). *Commemorations: The politics of national identity* (pp. 27-40). Princeton: Princeton University Press.

Hatano, G. (1994). Introduction. *Human Development*, 37(4), 189-197.

Hatano, G. (2005, April). *A cognitive-sociocultural view of conceptual change: A case study of understanding of photosynthesis*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Montreal.

Hatano, G., & Inagaki, K. (1991). Sharing cognition through collective comprehension activity. In L. B. Resnick, J. M. Levine, & S. D. Teasley (Eds.). *Perspectives on socially shared cognition* (pp. 331-348). Washington: American Psychological Association.

Hatano, G., & Inagaki, K. (1997). Qualitative changes in intuitive biology. *European Journal of Psychology of Education*, 7(2), 111-130.

Heilbron, J. (2001). The earliest missionaries of the Copenhagen spirit. In P. Galison, M. Gordin, & D. Kaiser (Eds.). *Science and society – The history of modern physical science in the twentieth century* (Vol. 4, pp. 295-330). New York: Routledge.

Hempel, C. G., & Oppenheim, P. (1948). Studies on the logic of explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135-175.

Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3(4), 383-396.

Hewson, P. W. (1982). A case study of conceptual change in special relativity: The influence of prior knowledge in learning. *European Journal of Science Education*, 4(1) 61–78.

Hewson, P. W. (1992, June). *Conceptual change in science teaching and teacher education*. Paper presented at a meeting on Research and Curriculum Development in Science Teaching, under the auspices of the National Center for Educational Research, Documentation, and Assessment, Ministry for Education and Science, Madrid.

Hewson, P. W. (2008). Forum: Conceptions over time: Are language and here-and-now up to the task? *Cultural Studies of Science Education*, 3, 263-276.

Hewson, P. W., & Thorley, N. R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11(special issue), 541-553.

Hoffmann, M. H. G. (2007). Forum: Learning without belief-change? *Cultural Studies of Science Education*, 2, 688-694.

Holbrow, C. H. (1999). Archaeology of a bookstack: some major introductory physics texts of the last 150 years. *Physics Today*, 52(3), 50-56.

Hunt, E., & Minstrell, J. (1994). A cognitive approach to the teaching of physics. In K. McGilly (Ed.). *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (pp. 51-74). Cambridge: MIT Press.

Hutchins, E. (1980). *Culture and inference*. Cambridge: Harvard University Press.

Hutchins, E. (1991). The social organization of distributed cognition. In L. B. Resnick, J. M. Levine, & S. D. Teasley (Eds.). *Perspectives on socially shared cognition* (pp. 283-307). Washington: American Psychological Association.

Hutchins, E. (1995). *Cognition in the wild*. Cambridge: MIT Press.

Ivarsson, J., Schoultz, J., & Säljö, R. (2002). Map reading versus mind reading: Revisiting children's understanding of the shape of the earth. In M. Limón, & L. Mason (Eds.) *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 77-99). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Jammer, M. (1974). *The philosophy of quantum mechanics: The interpretations of quantum mechanics in historical perspective*. New York: John Wiley & Sons.

Kaiser, D. (2002). Cold War requisitions, scientific man power, and the production of American physicists after World War II. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 33(1), 131-159.

Kaufman, D. R., Keselman, A., & Patel, V. L. (2008). Changing Conceptions in Medicine and Health. In S. Vosniadou (Ed.). *International handbook of research on conceptual change* (pp. 295-327). New York: Routledge.

Kelly, G. J., & Green, J. (1998). The social nature of knowing: Toward a sociocultural perspective on conceptual change and knowledge construction. In B. Guzzetti, & C. Hynd (Eds.). *Perspectives on conceptual change: multiple ways to understand knowing and learning in a complex world* (pp. 145-182). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Kirch, S. A. (2010). Identifying and resolving uncertainty as a mediated action in science: a comparative analysis of the cultural tools used by scientists and elementary science students at work. *Science Education*, 94 (2), 308-335.

Kitcher, P. (1989). Explanatory unification and the causal structure of the world. In P. Kitcher & W. C. Salmon (Eds.). *Minnesota studies in the philosophy of science: Vol. XIII. Scientific explanation* (pp. 410-499). Minneapolis, University of Minnesota Press.

Klimovsky, G. (1995). *Las desventuras del conocimiento científico: una introducción a la epistemología*. (2nd ed.). Buenos Aires: A Z Editora.

Kragh, H. (1992). A sense of history: history of science and the teaching of introductory quantum theory. *Science and Education*, 1, 349-363.

Krange, I. (2007). Students' conceptual practices in science education: Productive disciplinary interactions in a participation trajectory. *Cultural Studies of Science Education*, 2, 171-203.

Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal teaching and learning: The rhetorics of the science classroom*. London: Continuum.

Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

Kuhn, T. S. (1963). The Function of Dogma in Scientific Research. In A. C. Crombie (ed.). *Scientific change: Historical studies in the intellectual, social, and technical conditions for scientific discovery and technical invention, from antiquity to the present* (pp. 347-369). London: Heinemann Educational Books.

Kuhn, T. S. (1970). *The structure of scientific revolutions* (2nd ed.). Chicago: University of Chicago Press.

Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.). *Criticism and the growth of knowledge* (pp. 91-192). Cambridge: Cambridge University Press.

Latour, B. (1987). *Science in action*. Cambridge: Harvard University Press.

Latour, B., & Woolgar, S. (1986). *Laboratory life: The construction of scientific facts*. Princeton: Princeton University Press.

Laudan, L. (1984). *Science and values: the aims of science and their role in scientific debate*. Berkeley: University of California Press.

Lave, J. (1988). *Cognition in practice*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values*. Norwood: Ablex.

Lemke, J. L. (2001). Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 296-316.

- Leont'ev, A. N. (1981). The problem of activity in psychology. In J. V. Wertsch (Ed.). *The concept of activity in Soviet psychology* (pp. 37-71). Armonk: Sharpe.
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: a critical appraisal. *Learning and Instruction, 11*(4/5), 357–380.
- Limón, M. (2002). Conceptual Change in History. In M. Limón, & L. Mason (Eds.). *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 259-289). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Limón, M., & Mason, L. (2002). *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Linder, C. J. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education, 77*(3), 293-300.
- Linnenbrink, E. A., & Pintrich, P. R. (2002). The role of motivational beliefs in conceptual change. In M. Limon, & L. Mason (Eds.). *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 115–135). Dordrecht: Kluwer Academic.
- Lotman, Y. M. (1988). Text within a text. *Soviet Psychology, XXVI*(3), 32–51.
- MacIntyre, A. (1984). *After virtue: A study in moral theory*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Marton, F. (1981). Phenomenography – Describing conceptions of the world around us. *Instructional Science, 10*, 177-200.
- Mason, L. (2007). Introduction: bridging the cognitive and sociocultural approaches in research on conceptual change: Is it feasible? *Educational Psychologist, 42*(1), 1-7.
- Mathews, M. R. (2003). Mario Bunge: Physicist and philosopher. *Science & Education, 12*, 431-444.
- Mayr, E. (1991). *One long argument: Charles Darwin and the genesis of modern evolutionary thought*. Cambridge: Harvard University Press.
- McCloskey, M. (1983). Naïve theories of motion. In D. Gentner, & A. L. Stevens (Eds.). *Mental Models* (pp. 299-324). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- McMullin, E. (1987). Scientific controversy and its termination. In H. T. Engelhardt & A. L. Caplan (Eds.). *Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology* (pp. 49-91). New York: Cambridge University Press.
- Mercer, N. (2007). Commentary on the reconciliation of cognitive and sociocultural accounts of conceptual change. *Educational Psychologist, 42*(1), 75-78.

- Middleton, D. (1987). Collective memory and remembering: Some issues and approaches. *Quarterly Newsletter of the Laboratory of Comparative Human Cognition*, 9(1), 2-5.
- Minstrell, J. (1982). Explaining the “at rest condition” of an object. *The Physics Teacher*, 20, 10-14.
- Moreira, M. A. (2000). Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22(1), 94-99.
- Moreira, M. A., & Greca, I. M. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência & Educação*, 9(2), 301-315.
- Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 3, 267-285.
- Mortimer, E. F. (1996). Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino em Ciências*, 1(1), 20-39.
- Mortimer, E. F. (1998). Multivoiceness and univocality in classroom discourse: An example from the theory of matter. *International Journal of Science Education*, 20(1), 67-82.
- Mortimer, E. F. (2000, July). *Microgenetic analysis and the dynamic of explanations in science classroom*. Paper presented at the III Conference for Sociocultural Research, Campinas.
- Mortimer, E. F. (2002). Uma agenda para a pesquisa em educação em ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(1), 36-59.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. (2002). Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3), 107-126.
- Mortimer, E. F., & Wertsch, J. V. (2003). The architecture and dynamics of intersubjectivity in science classrooms. *Mind, Culture and Activity*, 10(3), 230-244.
- Neumann, J., von. (1955). *Mathematical foundations of quantum mechanics*. Princeton: Princeton University Press.
- Niedderer, H., Goldberg, F., & Duit, R. (1991). Towards learning process studies: A review of the workshop on research in physics learning. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.). *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 10-28). Kiel: Schmidt & Klannig.
- Nora, P. (1989). Between memory and history: *Les lieux de mémoire*. *Representations*, 26, 7-25.

Norris, S. P., Guilbert, S. M., Smith, M. L., Hakimelahi, S., & Phillips, L. M. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Science Education*, 89(4), 535-563.

Novick, P. (1999). *The Holocaust in American life*. Boston: Houghton Mifflin Company.

Ogborn, J., Kress, G., Martins, I., & McGillicuddy, K. (2006). *Explaining science in the classroom*. Buckingham: Open University Press.

Osnaghi, S., Freitas, F., & Freire, O., Jr. (2009). The origin of the Everettian heresy. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 40(2), 97-123.

Ostermann, F., Prado, S. D., & Ricci, T. S. F. (2006). Desenvolvimento de um software para o ensino de fundamentos de física quântica. *A Física na Escola*, 7(1), 22-25.

Ostermann, F., Prado, S. D., & Ricci, T. S. F. (2008). Investigando a aprendizagem de professores de física acerca do fenômeno de interferência quântica. *Ciência & Educação*, 14(1), 35-54.

Özdemir, G., & Clark, D. B. (2007). An overview of conceptual change theories. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(4), 351-361.

Packer, M. J., & Goicoechea, J. (2000). Sociocultural and constructivist theories of learning: Ontology, not just epistemology. *Educational Psychologist*, 35(4), 227-241.

Pennebaker, J. W., Paez, D., & Rimé, J. (1997). *Collective memory of political events: Social psychological perspectives*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Inc.

Pereira, A. P., & Ostermann, F. (2012a). Aproximação sociocultural à mente, de James V. Wertsch, e implicações para a educação em ciências. *Ciência & Educação*, 18(1), 23-39.

Pereira, A. P., & Ostermann, F. (2012b). Recursos e Restrições nas explicações de futuros professores de física sobre mecânica quântica. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência*, 12(2), 9-28.

Pereira, A. P., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. H. (2012). Um exemplo de "distribuição social da mente" em uma aula de física quântica. *Ciência & Educação*, 18(2), 257-270.

Pereira, A., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. (2009). On the use of a virtual Mach-Zehnder interferometer in the teaching of quantum mechanics. *Physics Education*, 44(3), 281-291.

Pessoa, O., Jr. (2003). *Conceitos de física quântica*. São Paulo: Livraria da Física.

Philippidis, C., Dewdney, C., & Hiley, B. J. (1979). Quantum interference and the quantum potential. *Nuovo Cimento*, 52(1), 15-28.

Piccinini, C., & Martins, I. (2004). Comunicação multimodal na sala de aula de ciências: contruindo sentidos com palavras e gestos. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 6(1), 21-34.

Pinto, N., Neto. (2010). *Teorias e interpretações da mecânica quântica*. São Paulo: Livraria da Física.

Pintrich, P. R. (1999). Motivational beliefs as resources for and constraints on conceptual change. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.). *New perspectives on conceptual change* (pp. 33–50). Amsterdam: Pergamon.

Pintrich, P. R., & Sinatra, G. M. (2003). Future directions for theory and research on intentional conceptual change. In G. M. Sinatra, & P. R. Pintrich (Eds.). *Intentional conceptual change* (pp. 429-441). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(1), 167-199.

Polman, J. L., & Pea, R. D. (2001). Transformative communication as cultural tool for guiding inquiry science. *Science Education*, 85(3), 207-222.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.

Pospiech, G. (2003). Philosophy and quantum mechanics in science teaching. *Science & Education*, 12, 559-571.

Pozo, G. J. (1999). Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 513-520.

Pozo, J., Gómez, M., & Sanz, A. (1999). When change does not mean replacement: Different representations for different contexts. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.). *New perspectives on conceptual change* (pp. 161-174). Amsterdam: Pergamon.

Propp, V. (1968). *Morphology of the folktale*. Austin: University of Texas Press.

Radl, E. (1988). *Historia de las teorías biológicas*. Madrid: Alianza Editorial.

Ranney, M. (1988, November). *Contradictions and reorganizations among naïve conceptions of ballistics*. Paper presented at the annual meeting of the Psychonomic Society, Chicago.

Reichenbach, H. (1961). *Experience and prediction*. Chicago: Phoenix.

- Rezende, F., & Barros, S. S. (2001). Teoria aristotélica, teoria do impetus ou teoria nenhuma: um panorama das dificuldades conceituais de estudantes de física em mecânica básica. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(1), 43-56.
- Ribas, A. F. P., & Moura, M. L. S. (2006). Abordagem sociocultural: algumas vertentes e autores. *Psicologia em Estudo*, 11(1), 129-138.
- Roediger, H. L., & McDermott, K. B. (1995). Creating false memories: Remembering words not presented in lists. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(4), 803-814.
- Roediger, H. L., & Wertsch, J. V. (2008). Creating a new discipline of memory studies. *Memory Studies*, 1(1), 5-17.
- Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in thinking*. New York: Oxford University Press.
- Roth, W. -M. (2008). A question of competing paradigms? *Cultural Studies of Science Education*, 4, 373-385.
- Roth, W. -M., Lee, Y. J., & Hwang, S. (2008). Culturing conceptions: From first principles. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 231-261.
- Säljö, R. (1999). Concepts, cognition and discourse: From mental structure to discursive tools. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.). *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 81-90). Oxford: Elsevier.
- Schilpp, P. A. (Ed.). (1949). *Albert Einstein – Philosopher-Scientist*. Evanston: The Library of the Living Philosophers.
- Schnotz, W., Vosniadou, S., & Carretero, M. (1999). *New Perspectives on Conceptual Change*. Oxford: Elsevier.
- Schoultz, J., Säljö, R., & Wyndhamn, J. (2001). Heavenly talk: Discourse, artifacts, and children's understanding of elementary astronomy. *Human Development*, 44, 103-118.
- Schweber, S. S. (1986). The empiricist temper regnant: theoretical physics in the United States 1920-1950. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 17(1), 55-98.
- Scott, P. (1998). Teacher talk and meaning making in science classrooms: A Vygotskian analysis and review. *Studies in Science Education*, 32(1), 45-80
- Scott, P. H., Asoko, H. M., & Driver, R. (1992). Teaching for conceptual change: A review of strategies. In Duit, R., Goldberg, F., & Niedderer, H. (Eds.). *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel: Schmidt & Klannig.

Sepulveda, C., & El-Hani, C. N. (2004). Quando visões de mundo se encontram: religião e ciência na trajetória de formação de alunos protestantes de uma licenciatura em ciências biológicas. *Investigações em Ensino de Ciências*, 9(2), 137-175.

Sepulveda, C., & El-Hani, C. N. (2006). Apropriação do discurso científico por alunos protestantes de biologia: uma análise à luz da teoria da linguagem de Bakhtin. *Investigações em Ensino de Ciências*, 11(1), 29-51.

Sfard, A. (1998). On two metaphors for learning and the danger of choosing just one. *Educational Researcher*, 27(2), 4–13.

Sfard, A. (2007). Reconceptualizing conceptual change. In S. Vosniadou, A. Baltas, & X. Vamvakoussi (Eds.). *Re-framing the conceptual change approach in learning and instruction* (pp. 329-334). Oxford: Elsevier.

Shapin, S., & Schaffer, S. (1985). *Leviathan and the air-pump*. Princeton: Princeton University Press.

Shweder, R. A. (1991). *Thinking through cultures: Expeditions in cultural psychology*. Cambridge: Harvard University Press.

Shweder, R. A. (1990). Cultural psychology – What is it? In J. V. Stigler, R. A. Shweder, & G. Herdt (Eds.). *Cultural psychology* (pp. 1-46). Cambridge: Cambridge University Press.

Sinatra, G. M. (2005). The “warming trend” in conceptual change research: The legacy of Paul R. Pintrich. *Educational Psychologist*, 40(2), 107-115.

Sinatra, G. M., & Pintrich, P. R. (2003), *Intentional conceptual change*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Sinatra, G. M., Southerland, S. A., McConaughy, F., & Demastes, J. W. (2003). Intentions and beliefs in students’ understanding and acceptance of biological evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 510-528.

Smardon, R. (2008). Forum: Some sociological ideas for conceptual change research. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 363-371.

Smith, M. U., & Siegel, H. (2004). Knowing, believing, and understanding: What goals for science education? *Science & Education*, 13, 553-582.

Solomon, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5(1), 49-59.

Spada, H. (1994). Conceptual change or multiple representations? *Learning and Instruction*, 4(1), 113–116.

- Spelke, S. E. (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. In S. Carey, & R. Gelman (Eds.). *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 133–170). Hillsdale: Erlbaum.
- Stock, B. (1990). *Listening for the text: On the uses of the past*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. Duschl, & R. Hamilton (Eds.). *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp. 147-176). Albany: Suny Press.
- Tharp, R. G., & Gallimore, R. (1988). *Rousing minds to life: Teaching, learning, and schooling in social context*. New York: Cambridge University Press.
- Tiberghien, A. (2008). Forum: Students' conceptions: culturing conceptions. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 283–295.
- Tipler, P. A., & Llewellyn, R. A. (2001). *Física Moderna* (3. Ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Tobin, K. (2008). In search of new light: Getting the most from competing perspectives. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 227-230.
- Toulmin, S. (1972). *Human understanding*. Princeton: Princeton University Press.
- Treagust, D. F., & Duit, R. (2008a). Conceptual change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 297-328.
- Treagust, D. F., & Duit, R. (2008b). Forum: Compatibility between cultural studies and conceptual change in science education: there is more to acknowledge than to fight straw men! *Cultural Studies of Science Education*, 3, 387-395.
- Treagust, D. F., & Duit, R. (2009). Multiple perspectives of conceptual change in science and the challenges ahead. *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia* 2009, 32(2), 89-104.
- Tulviste, P. (1991). *Cultural-historical development of verbal thinking: A psychological study*. Commack: Nova Science Publishing.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-21.
- Vigotski, L. S. (2001). *A construção do pensamento e da linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.

- Villani, A. (1992). Conceptual change in science and science education. *Science Education*, 76(2), 223-237.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.
- Vosniadou, S. (1999). Conceptual change research: State of the art and future directions. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.). *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 3-13). Oxford: Elsevier.
- Vosniadou, S. (2002). On the nature of naïve physics. In M. Limón, & L. Mason (Eds.) *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 61-76). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Vosniadou, S. (2007a). The cognitive-situative divide and the problem of conceptual change. *Educational Psychologist*, 42(1) 55-66.
- Vosniadou, S. (2007b). The conceptual change approach and its re-framing. In Vosniadou, S., Baltas, A., & Vamvakoussi, X. (Eds.). *Re-framing the conceptual change approach in learning and instruction* (pp. 1-15). Oxford: Elsevier.
- Vosniadou, S. (2008a). Forum: Bridging culture with cognition: A commentary on ‘‘culturing conceptions: From first principles. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 277–282.
- Vosniadou, S. (2008b). *International handbook of research on conceptual change*. New York: Routledge.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535–585.
- Vosniadou, S., & Verschaffel, L. (Eds.). (2004). Conceptual change approach to mathematics learning and teaching. Special Issue of *Learning and Instruction*, 14(5).
- Vosniadou, S., Baltas, A., & Vamvakoussi, X. (2007). *Re-framing the conceptual change approach in learning and instruction*. Oxford: Elsevier.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Vygotsky, L. S. (1981a). The genesis of higher mental functions. In J. V. Wertsch (Ed.). *The concept of activity in Soviet psychology* (pp. 144-188). Armonk: Sharpe.
- Vygotsky, L. S. (1981b). The instrumental method in psychology. In J. V. Wertsch (Ed.), *The concept of activity in Soviet psychology* (pp. 134-143). Armonk: Sharpe.

Vygotsky, L. S. (1984). *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. São Paulo: Martins Fontes.

Vygotsky, L. S. (1987). Thinking and speech. In L. S. Vygotsky. *The collected works of L. S. Vygotsky* (Vol. 1, pp. 39–285). New York: Plenum Press.

Vygotsky, L. S., & Luria, A. R. (1993). *Studies of the history of behavior: Ape, primitive and child*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

Wartofsky, M. (1979). *Models, representation and the scientific understanding*. Boston: Reidel.

Wells, G. (2008). Forum: Learning to use scientific concepts. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 329-350.

Wertsch, J. V. (1979). From social interaction to higher psychological processes: A clarification and application of Vygotsky theory. *Human Development*, 22(1), 1-22.

Wertsch, J. V. (1984). The zone of proximal development: some conceptual issues. In B. Rogoff & J. V. Wertsch (Eds.). *Children's learning in the "zone of proximal development": New directions for child development* (pp. 7-18). San Francisco: Jossey-Bass.

Wertsch, J. V. (1985). *Vygotsky and the social formation of mind*. Cambridge: Harvard University Press.

Wertsch, J. V. (1991). *Voices of the mind: A sociocultural approach to mediated action*. Cambridge: Harvard University Press.

Wertsch, J. V. (1992). Keys to cultural psychology. *Culture, Medicine and Psychiatry*, 16, 273-280.

Wertsch, J. V. (1993). Foreword. In L. S. Vygotsky & A. R. Luria. *Studies of the history of behavior: Ape, primitive and child* (pp. ix-xiii). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

Wertsch, J. V. (1996). The role of abstract rationality in Vygotsky's image of mind. In A. Tryphon, & J. Vonèche (Eds.). *Piaget – Vygotsky: The social genesis of thought* (pp. 25-43). Hove: Psychological Press.

Wertsch, J. V. (1998a). A necessidade da ação na pesquisa sociocultural. In J. V. Wertsch, P. del Rio & A. Alvarez (Orgs.). *Estudos socioculturais da mente* (pp. 56-71). Porto Alegre: Artmed.

Wertsch, J. V. (1998b). *Mind as action*. New York, Oxford University Press.

Wertsch, J. V. (1999). *La mente en acción*. Buenos Aires: Aique.

Wertsch, J. V. (2001). Narratives as cultural tools in sociocultural analysis: Official history in Soviet and Post-Soviet Russia. *Ethos*, 28(4), 511-533.

Wertsch, J. V. (2002). *Voices of collective remembering*. New York: Cambridge University Press.

Wertsch, J. V. (2003, January). Filling in the blank spots in History: The Molotov-Ribbentrop Pact in Russian collective memory. Paper presented at the conference "Memory and War" at the Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.

Wertsch, J. V. (2004). Specific narratives and schematic narrative templates. In P. Seixas (Ed.). *Theorizing historical consciousness* (pp. 49-62). Toronto: University of Toronto Press.

Wertsch, J. V. (2006). Mediation. In: H. Daniels, M. Cole, & J. Wertsch, J. V. *The Cambridge Companion to Vygotsky* (pp. 178-192). New York: Cambridge University Press.

Wertsch, J. V. (2008). The narrative organization of collective memory. *Ethos*, 36(1), 120-135.

Wertsch, J. V. (2009). Collective Memory. In P. Boyer & J. V. Wertsch (Eds.). *Memory in mind and culture* (pp. 117-137). Cambridge: Cambridge University Press.

Wertsch, J. V., & Stone, C.A. (1985). The concept of internalization in Vygotsky's account of the genesis of higher mental functions. In J. V. Wertsch (Ed.). *Culture communication and cognition: Vygotskian perspectives* (pp. 162-182). Nova York: Cambridge University Press.

Wertsch, J. V., & Tulviste, P. (1992). L. S. Vygotsky and contemporary developmental psychology. *Developmental Psychology*, 28(4), 548-557.

Wertsch, J. V., Río, P. del, & Alvarez, A. (1998). Estudos socioculturais: história, ação e mediação. In J. V. Wertsch, P. del Rio & A. Alvarez (Orgs.). *Estudos socioculturais da mente* (pp. 11-38). Porto Alegre: Artmed.

Wertsch, J. V., & Roediger, H. L. (2008). Collective Memory: Conceptual foundations and theoretical approaches. *Memory*, 16(3), 318-326.

Wheeler, J. A., & Zurek, W. H. (Eds.). (1983). *Quantum theory and measurement*. Princeton: Princeton University Press.

White, R. T. (1994). Conceptual and conceptional change. *Learning and Instruction*, 4(1), 117-121.

Wickman, P.-O., & Östman, L. (2002). Learning as discourse change: A sociocultural mechanism, *Science Education*, 86(5), 601-623.

Wigner, E. P. (1963). The problem of measurement. *American Journal of Physics*, 31, 6-15.

Wiser, M., & Carey, S. (1983). When heat and temperature were one. In D. Gentner, & A. Stevens (Eds.). *Mental models* (pp. 267–297). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical investigations*. Oxford: Blackwell.

Young, R. M. (1985). *Darwin's metaphor: Nature's place in Victorian culture*. Cambridge: Cambridge University Press.

ANEXO

Artigo publicado na *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*.



Recursos e Restrições nas explicações de futuros professores de física sobre mecânica quântica

Affordances and constraint in the explanations of pre-service physics teachers on quantum mechanics

Alexsandro Pereira de Pereira

PPG Ensino de Física/ Instituto de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
alexsandro.pereira@ufrgs.br

Fernanda Ostermann

Instituto de Física i Departamento de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
fernanda.ostermann@ufrgs.br

Resumo

Nesse trabalho, apresentamos um estudo sobre o papel da mediação textual no ensino de ciências. Esse estudo traz resultados preliminares de uma tese de doutorado, ainda em andamento, que investiga a formação inicial de professores de física em mecânica quântica. A metodologia adotada no presente estudo consiste na análise do discurso de um grupo de licenciandos em física, conforme eles respondem a um teste escrito sobre física moderna. O objetivo é analisar o modo como “recursos textuais” disponíveis nesse contexto institucional moldam as explicações de futuros professores de Física sobre mecânica quântica. Os resultados da análise mostraram que os recursos textuais empregados pelos estudantes oferecem sérias restrições à formulação de uma resposta adequada ao problema proposto pelo professor. Essas restrições parecem estar relacionadas aos múltiplos objetivos associados à tarefa em questão.

Palavras chaves

Mediação textual, recursos e restrições, abordagem sociocultural, ensino de física quântica.

Abstract

In this paper, we present a study on the role of textual mediation in science teaching. This study comes up with some preliminary outcomes from an ongoing doctoral thesis, which investigates the teaching of quantum mechanics in the training of high school physics teachers. The methodology used in this paper is based on the analysis of discourse of a group of undergraduate students as they answer a written test on modern physics. The aim of this study is to examine how “textual resources” provided by this institutional context shape the explanations of pre-service physics teacher on quantum mechanics. The outcomes of this study have shown that the textual resources employed by the students have seriously constrained the formulation of a proper response to the problem posed by the teacher. These constrains seem to be related to multiples goal associated with the task itself.

Key words

Textual mediation, affordances and constraint, sociocultural approach, teaching of quantum physics.

Introdução

Em *Voices of Collective Remembering*, James V. Wertsch (2002) narrou um episódio no qual ele passou um dia em Moscou observando diversas aulas em uma escola de ensino médio conhecida pelos seus fortes estudantes e excelente instrução. Nessa ocasião, ele teve a oportunidade de engajar alguns alunos do décimo primeiro ano em uma discussão sobre a segunda guerra mundial e ele perguntou sobre o papel que os Estados Unidos desempenharam nesse conflito. Em resposta a essa questão, um estudante de dezesseis anos, Sasha, disse que os Estados Unidos não contribuíram como um aliado porque eles ganharam muito dinheiro vendendo armas para países durante os primeiros anos da guerra e também se recusaram a abrir uma segunda frente de batalha em 1942 e em 1943. Além disso, ele disse que foi somente depois que os Estados Unidos começaram a pensar que a União Soviética poderia vencer a guerra sozinha e dominar a Europa pós-guerra que eles ficaram suficientemente preocupados em entrar no conflito, abrindo uma segunda frente de batalha em 1944.

De acordo com Wertsch, o mais surpreendente com relação à resposta de Sasha é a maneira com que ele falou sobre esses eventos. Ele se apresentou de maneira segura e confiante, demonstrando pouca dúvida ou hesitação. Foi como se ele próprio tivesse sido uma testemunha ocular do que aconteceu. Uma primeira questão que surge desse episódio é a seguinte: como ele, um estudante de dezesseis anos de idade, pode ter tanta certeza do que ele disse? Afinal de contas, ele não era nem mesmo nascido até aproximadamente quatro décadas após a segunda guerra mundial ter acabado. Uma segunda questão pertinente, nesse caso, é a seguinte: de onde ele tirou essa descrição do passado? Até onde é possível averiguar, seus comentário sobre a segunda guerra mundial difere substancialmente da história oficial ensinada nos Estados Unidos e em outros países do Ocidente.

Uma óbvia conclusão desse episódio é a de que os russos têm sua própria versão oficial da história e estudantes como Sasha têm aprendido sobre ela na escola, em casa, na mídia e assim por diante. Entretanto, o fato de nenhum estudante da geração de Sasha ter testemunhado esse conflito aponta para uma importante característica do ensino de história: a de que não temos acesso direto aos eventos propriamente ditos, mas apenas a algumas narrativas sobre eles. Isso implica o fato de que o aprender história invariavelmente toma a forma de dominar textos narrativos sobre quem fez o que para quem, por qual motivo e em que contexto, e há poucas razões para duvidar de que esse foi o modo pelo qual Sasha desenvolveu sua descrição do passado.

Neste trabalho, defendemos a tese de que a mesma linha de raciocínio, usado para analisar o episódio de Sasha, pode ser aplicada ao ensino de ciências. Em um importante sentido, nem professores nem estudantes têm acesso direto às “entidades inobserváveis” (HACKING, 1983) que as teorias científicas postulam (átomos, genes, fótons, elétrons, etc.), mas apenas a certas *explicações* dessas entidades –textos explicativos sobre “o que elas podem fazer, o que você pode fazer para elas e do que elas são feitas” (OGBORN et al., 2006). Assim, aprender ciências torna-se uma questão de dominar “recursos textuais” fornecidos por outros¹, isto é, explicações (orais ou escritas) que estabelecem, ou mediam, a relação entre os fenômenos propriamente ditos e o nosso entendimento sobre eles.

O presente trabalho apresenta um estudo sobre o papel da mediação textual no ensino de ciências. Esse estudo faz parte de um projeto mais amplo que investiga a formação inicial de professores de física em mecânica quântica. As questões discutidas nesse trabalho são resultados preliminares de uma tese de doutorado ainda em andamento. A metodologia adotada no presente estudo consiste na análise do discurso de um grupo de licenciandos em física, conforme eles respondem a um teste escrito sobre física moderna. O objetivo é analisar como “recursos textuais” disponíveis nesse contexto institucional moldam as explicações de futuros professores de Física sobre mecânica quântica. Nossa análise fundamenta-se na abordagem sociocultural de James V. Wertsch. Partimos do pressuposto de que falar e pensar cientificamente implica empregar textos explicativos da ciência, que são fornecidos por outros em um cenário sociocultural específico. Os resultados da análise mostraram que os recursos textuais empregados pelos estudantes oferecem sérias restrições à formulação de uma resposta adequada ao problema proposto pelo professor. Essas restrições parecem estar relacionadas aos múltiplos objetivos associados à tarefa em questão.

Referencial teórico: a análise sociocultural de Wertsch

O presente trabalho fundamenta-se na análise sociocultural proposta por James V. Wertsch (1991, 1998). O objetivo da análise sociocultural consiste em compreender como os processos mentais humanos estão relacionados com o contexto cultural, histórico e institucional. Um pressuposto básico dessa abordagem é a afirmação de

¹ Essa definição é uma simplificação. A aprendizagem envolve a formação de um plano interno de funcionamento a partir da interação social e do domínio de mecanismos semióticos, especialmente a linguagem, que mediam o funcionamento social e, posteriormente, o individual.

que o que deve ser descrito e explicado é a “ação” humana. Da forma definida por Wertsch, a ação pode ser externa ou interna, e pode ser conduzida tanto por grupos (pequenos ou grandes) como por indivíduos.

Uma forma de ação humana de particular interesse para análise sociocultural é a “ação mediada”. A ênfase na mediação deriva dos escritos de Vygotsky (1987, 1994) sobre o desenvolvimento das funções humanas e constitui o aspecto central da análise sociocultural. Isso porque a ação humana tipicamente emprega “ferramentas culturais”, ou “modos de mediação”, que estão disponíveis em um cenário sociocultural particular. Essas ferramentas culturais, tais como a linguagem e os instrumentos de trabalho, moldam a ação humana de maneira essencial. E devido ao fato de que essas ferramentas são fornecidas por um cenário sociocultural particular, a ação humana é inerentemente “situada” em um contexto cultural, histórico e institucional.

Um pressuposto básico da análise sociocultural é a afirmação de que a ação humana envolve uma “tensão irreduzível” entre os agentes e as ferramentas culturais que eles empregam. Essa formulação está no núcleo da análise sociocultural e nos obriga a ir além do agente individual para compreender as forças que configuram a ação humana. Mais do que isso, essa formulação sugere que qualquer tentativa de reduzir a ação humana a um de seus elementos (agente ou ferramenta cultural) corre o risco de destruir o fenômeno em observação. Isso não significa que a ação humana não envolva uma dimensão psicológica individual. Ela certamente envolve. A questão é que isso deve ser pensado como um “momento” da ação e não como um processo separado ou como uma entidade que de alguma forma existe em isolamento. Ao invés de assumir que um agente, sozinho, é responsável pela ação, é mais apropriado falar de “agentes-agindo-com-ferramentas-culturais”. Essa descrição permite fornecer uma resposta mais adequada à pergunta “quem está realizando a ação?”. Ou, no caso discurso, “quem está realizando o discurso?”.

Para ilustrar a irreduzível tensão entre agentes e ferramentas culturais, considere um exemplo relativo ao ensino de matemática básica. Um estudante é solicitado a multiplicar 484 por 22. Após realizar a multiplicação, ele encontra corretamente o resultado 10648. Para justificar sua resposta, o estudante mostra para o professor o seu cálculo, realizado mais ou menos da seguinte maneira:

$$\begin{array}{r}
 484 \\
 \times 22 \\
 \hline
 968 \\
 + 968\text{—} \\
 \hline
 10648
 \end{array}$$

Uma questão fundamental, nesse caso, é: quem realizou a multiplicação? À primeira vista, a resposta adequada parece ser “o estudante”, uma vez que um agente ativo teve que estar envolvido para conduzir a operação. No entanto, uma análise mais cuidadosa pode revelar a presença de um dispositivo semiótico, materializado na forma de números agrupados segundo uma disposição espacial particular. Tal observação parece sugerir que talvez esse formato gráfico vertical dos números deva receber os créditos pela multiplicação. Mas esse formato gráfico, por si só, é incapaz de fornecer o resultado da multiplicação. É necessário que um agente, familiarizado

com a ferramenta cultural em questão, possa manipulá-la de maneira adequada para obter o resultado correto. Assim, do ponto de vista da ação mediada, ambos os elementos (o agente e a ferramenta cultural) estavam envolvidos num sistema de operação distribuída, de modo que a resposta mais adequada à questão formulada acima é: o estudante atuando junto com a disposição vertical dos números.

Para esclarecer melhor esse ponto, considere que o mesmo estudante seja solicitado a repetir a operação sem utilizar a disposição vertical dos números. Tal operação seria muito mais difícil – e dependendo dos números envolvidos, até impossível – de se realizar. Isso porque a maioria das pessoas instruídas é suficientemente hábil para multiplicar 2 por 4, 2 por 8 e assim por diante, mas não para multiplicar 484 por 22 diretamente. A disposição vertical dos números permite reduzir um problema complexo em uma série de operações concretas com as quais os agentes sabem lidar. Isto significa que

a organização espacial – ou sintaxe – dos números é, nesse caso, parte essencial de uma ferramenta cultural sem a qual não podemos resolver esse problema. Em um importante sentido, portanto, esta sintaxe realiza parte do pensamento (WERTSCH, 1998, p. 29, nossa tradução).

A partir dessa perspectiva, qualquer forma de ação humana se torna muito difícil, ou até impossível, de se realizar se nela não estiver envolvida uma poderosa ferramenta cultural e um agente habilidoso no seu manuseio. A natureza da ferramenta cultural e o uso específico que é feito dela podem variar consideravelmente. Ainda sim, ambos os elementos são necessários para a compreensão da ação humana.

Contribuições da análise sociocultural para o ensino de ciências

Construindo a partir das ideias de Wertsch, delineamos uma abordagem “distribuída” para o ensino de ciências. Essa abordagem está centrada em como “recursos textuais” (WERTSCH, 2002), especialmente explicações científicas, configuram esse processo. O conceito de “texto explicativo” que estamos propondo é análogo à noção de narrativas usada por Wertsch (1998) no estudo da memória coletiva. O termo “texto” – que pode ser escrito ou oral – deriva dos trabalhos de Mikhail M. Bakhtin (1986) e é visto como a unidade básica de organização que estrutura significado, comunicação e pensamento.

O pressuposto básico de nossa abordagem consiste na tese de que pensar e falar cientificamente implica empregar textos explicativos fornecidos por outros. Esses textos têm um histórico de uso por parte de outros falantes e, em virtude disso, traz consigo suas perspectivas gerais ou visões de mundo que Bakhtin (1981) define como “voz”. Isso não significa que os textos explicativos determinam mecanicamente nosso discurso, mas sua influência é poderosa e precisa ser reconhecida e examinada. A partir dessa perspectiva, o conhecimento científico é visto como “distribuído” entre agentes e fontes textuais e o desafio consiste em olhar para esses textos e para as vozes por trás deles, assim como para as vozes de determinados agentes empregando esses textos em um determinado contexto.

Uma clara evidência da mediação textual no ensino de ciências reside no fato de que, na maioria dos casos, as explicações fornecidas por professores e alunos em sala de

aula não são o resultado de pesquisa independente. Ao invés disso, elas fazem parte de um “kit de ferramentas” (WERTSCH, 1991) disponível em um cenário sociocultural particular. A partir dessa perspectiva, portanto, aprender ciências significa dominar as explicações científicas que são fornecidas por professores e colegas em uma determinada instituição de ensino. Isso não significa que os indivíduos envolvidos simplesmente repetem as explicações científicas de maneira irracional. Pelo contrário, eles geralmente são bem capazes de justificar suas explicações, reformulando-as e acrescentando novas informações. Isso mostra que as fontes textuais usadas no ensino de ciências não tomam a forma de instrumentos rígidos que são usados na sua forma imutável e em sua totalidade ou são rejeitados. Ao invés disso, eles representam uma forma muito mais flexível de ferramenta cultural que pode ser usada em combinação com outras para gerar novos argumentos.

A noção de textos explicativos que temos em mente se enquadra na categoria de “mediação implícita”, definida por Wertsch (2007). Essa categoria envolve sistemas de signos, especialmente a linguagem natural, cuja função primordial é a comunicação. Assim, ao contrário da mediação explícita que é intencionalmente introduzida na atividade com o propósito de organizá-la, as formas de mediação implícita já fazem parte do fluxo de ação comunicativa pré-existente que é posto em contato com outras formas de ação humana. Além disso, na mediação explícita a materialidade dos instrumentos mediadores tende a ser óbvia e não-transitória. Já no caso da mediação implícita, as formas de mediação costumam ser menos evidente e, portanto, mais difícil de detectar. Em virtude disso, ferramentas culturais como os textos explicativos são dificilmente tomados como objetos de reflexão consciente e manipulação. Essa característica é um exemplo daquilo que Wertsch (2002) chamou de “transparência” da linguagem. Parafraseando Wertsch, é como se olhássemos para os recursos textuais que empregamos e não pudéssemos vê-los ou apreciar o modo como eles moldam o que dizemos e pensamos.

Essa perspectiva sugere a necessidade de tornar visível a mediação textual e compreender o papel que ela desempenha no processo de ensino e aprendizagem em ciências. Isso implica analisar as formas específicas em que a mediação assume nesse contexto, especialmente as explicações científicas. No presente trabalho, nosso objetivo consiste em analisar o modo como os textos explicativos da mecânica quântica são usados, ou consumidos, por um grupo de licenciandos em física em uma atividade de resolução de problemas. O desafio consiste em examinar como os estudantes coordenam suas vozes com aquelas que estão por trás dos recursos textuais que eles empregam.

Dimensões de análise: propriedades da ação mediada

Em *Mind as Action*, Wertsch (1998) delineou dez formulações básicas que caracterizam a ação mediada e as ferramentas culturais utilizadas pelos agentes. No presente estudo, daremos destaque a três propriedades da ação mediada como possíveis dimensões analíticas a serem utilizadas no exame das transcrições dos enunciados produzidos pelos estudantes.

Múltiplos objetivos da ação

A primeira propriedade a ser considerada no presente estudo é a noção de que a ação mediada tem tipicamente múltiplos objetivos simultâneos. Essa afirmação normalmente contrasta com outras abordagens na qual a primeira suposição é a ideia que a ação humana se organiza em torno de um objetivo único e facilmente identificável. De acordo com Wertsch, a ação mediada costuma servir a vários propósitos, muitos dos quais podem estar em conflito um com o outro.

Para ilustrar a afirmação acima, considere novamente o exemplo da multiplicação. Um dos objetivos de se multiplicar 484 por 22 é obter o resultado correto. No entanto, para incluir a noção de objetivo no estudo da ação mediada é necessário levar em conta o fato de que as ferramentas culturais servem a determinados propósitos. Se o professor tivesse pedido para o estudante multiplicar 484 por 22 utilizando números romanos ao invés de números arábicos, os objetivos do agente entrariam em conflito com os recursos proporcionados pela ferramenta cultural utilizada uma vez que os propósitos originais associados aos números romanos não incluem a multiplicação. Na perspectiva da análise sociocultural, a ação mediada tem múltiplos objetivos simultâneos porque os objetivos do agente não se ajustam com precisão aos objetivos associados aos diferentes modos de mediação.

Recursos e restrições

Uma segunda propriedade da ação mediada é a afirmação de que as ferramentas culturais restringem ao mesmo tempo em que possibilitam a ação. De acordo com Wertsch, os estudos em psicologia tendem a centrar-se no potencial dos meios mediacionais para facilitar a ação humana. Vygotsky (1987, 1994), por exemplo, descreveu o modo como o desenvolvimento da linguagem na ontogênese oferece novas possibilidades de consciência humana. Já as teorias sobre desenvolvimento cognitivo têm formulado seus estudos em termos de como sofisticadas formas de mediação – frequentemente descritas em termo de “representações” – possibilitam formas de operações mais complexas (WERTSCH, 1985). A ideia geral é que mesmo quando uma ferramenta cultural liberta os agentes de algumas limitações prévias, ela introduz outras novas que lhe são próprias.

Um exemplo dessa propriedade pode ser ilustrado a partir do uso de gráficos no contexto do ensino de matemática. Aprender a lidar com um conjunto de dados a partir de observações empíricas, empregando uma determinada técnica de representação gráfica, nos ajuda a perceber padrões que de outra forma não seriam detectados. No entanto, esse mesmo processo também implica sermos menos capazes de enxergar outros padrões que poderiam ser revelados através do emprego de outras formas de mediação.

Capacidade transformatória

Uma terceira formulação de Wertsch consiste na afirmação de que novas ferramentas culturais transformam a ação mediada. Essa propriedade deriva dos escritos de Vygotsky acerca do método instrumental (VIGOTSKI, 2004). Na perspectiva da ação mediada, a introdução de uma nova ferramenta cultural na ação cria uma espécie de desequilíbrio na sua organização sistemática que provoca mudanças no agente e na ação mediada como um todo. Isto não significa que a única forma de introduzir

mudanças seja através de novas ferramentas culturais. Em muitos casos, as mudanças podem ser atribuídas a diferentes níveis de habilidade ou outros aspectos relacionados aos agentes. Ainda assim, as dinâmicas de mudança causadas pela introdução de um novo modo de mediação são muito poderosas e costumam passar despercebidas.

Esse aspecto pode ser exemplificado pela polêmica acerca do uso de calculadoras no ensino de ciências. Muitos professores de física e matemática, por exemplo, proíbem seus alunos de utilizarem a calculadora durante os exames. Embora eles raramente formulem nesses termos, a razão pela qual o uso dessa ferramenta cultural é proibido pelos professores resulta do fato de que a calculadora não facilita simplesmente uma forma de operação mental já existente. Pelo contrário, ela cria – ou a transforma em – uma forma de ação totalmente nova.

Delineamento do estudo

Esse estudo foi desenvolvido junto a uma disciplina introdutória de física moderna oferecida no quinto semestre de um curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Essa disciplina representa o primeiro contato dos estudantes com a teoria da mecânica quântica e equivale à disciplina de Introdução à Física Quântica, oferecida na maioria dos cursos de Bacharelado em Física do Brasil. Sua ementa inclui temas como a origem da física quântica, os modelos atômicos, o princípio da incerteza, a equação de Schrödinger e aplicações em uma dimensão. A dinâmica das aulas é basicamente constituída de aulas expositivas de quadro e giz. Os alunos receberam a cada semana uma lista de problemas contendo um resumo do conteúdo a ser discutido em aula. O conjunto dessas listas (dezesseis no total) constitui o único material de apoio efetivamente adotado na disciplina².

Em julho de 2009, os estudantes foram submetidos a um estudo conduzido em um laboratório de pesquisa em ensino de física. A tarefa consistiu na resolução de um teste, do tipo papel e lápis, formulado pelo próprio professor da disciplina. Essa atividade foi realizada no final do semestre letivo, quando todos os conteúdos já haviam sido contemplados. Essa tarefa serviu como terceira avaliação da disciplina, correspondendo a um terço da nota final dos estudantes. O teste era constituído de uma questão conceitual sobre o formalismo da mecânica quântica e um problema de aplicação da equação de Schrödinger para o potencial quadrado infinito. A atividade foi realizada em pequenos grupos (duas duplas e um trio) e os estudantes foram autorizados a consultar o material de apoio da disciplina. Aos grupos foram disponibilizadas mesas equipadas com computadores com acesso a internet, microfones e gravadores de som instalados. As conversas entre os estudantes foram registradas em áudio e posteriormente transcritas para análise³. O foco da análise se manteve sobre o uso de recursos textuais como ferramentas culturais para resolver a questão conceitual.

² Em entrevistas individuais, os estudantes declararam ter estudado a partir de outras fontes, a saber: Tipler, P. A.; Llewellyn, R. A. **Física Moderna**. Rio de Janeiro: LTC, 2001 e Eisberg, R.; Resnick, R. **Física Quântica: Átomo, Molécula, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1983

³ Essa atividade foi realizada a pedido dos pesquisadores. No entanto, a escolha das questões do teste ficou a critério do professor da disciplina, no intuito de minimizar a nossa intervenção nas aulas. Nossa única exigência foi que houvesse uma questão conceitual.

Análise dos dados

Nessa seção, apresentaremos a análise dos enunciados de dois grupos de estudantes, conforme eles realizavam a tarefa. A transcrição dos enunciados foi dividida em pequenos extratos para facilitar sua análise. Os nomes dos estudantes foram alterados no intuito de preservar suas identidades, mantendo-se o gênero de cada aluno. Eventuais usos de linguagem coloquial foram mantidos para assegurar a autenticidade dos enunciados. Para designar a superposição de dois ou mais enunciados emitidos simultaneamente, utilizou-se um pequeno espaçamento de linha. As leituras em voz alta são indicadas em itálico e entre aspas. A análise apresentada nesse trabalho centrou-se na seguinte questão:

“Considere, no contexto da mecânica quântica, os seguintes conceitos: estado; representação de estado; operadores; auto-valor e auto-vetor (ou auto-função). Em que estes conceitos se diferenciam quando consideramos a mecânica quântica e a mecânica clássica? Exemplifique”.

Os diálogos entre Raquel e Rosane

Após o início da atividade, Rosane leu em voz alta o enunciado da questão. Em seguida, as estudantes deram início ao seguinte diálogo.

Extrato 01: em busca de um recurso textual

01. Rosane: Putz.
02. Raquel: Do 11 ao 76. É aquelas primeiras lá.
03. Rosane: Não, eu acho que é aquela primeira de mecânica quântica. Pacotes de onda.
04. Tratamento formal, eu acho, dos sistemas físicos.
05. Raquel: É a 9?
06. Rosane: 9!
07. Raquel: Ah, tem aqui. *“Um estado é uma forma abstrata de representação das propriedades físicas de um sistema em função do tempo. Às leis da física compete ‘regular’ como o sistema evolui de um estado a outro, com o passar do tempo. Por outro lado, variáveis que são bem determinadas na mecânica clássica, são substituídas, na mecânica quântica, por grandezas cuja determinação está associada a uma interpretação probabilística da natureza. Isto porque, no mundo quântico nos deparamos com aspectos que são essencialmente distintos daqueles encontrados no mundo clássico”.*

O extrato acima se caracteriza pela busca de uma fonte textual adequada para a resolução do problema em questão. A presença de termos não-familiares à mecânica ondulatória como estado, representação de estado e autovetor, no enunciado da questão, serviu como base para a escolha da lista de problemas 9 (linhas 3-6). Essa lista apresenta uma síntese do tratamento formal da mecânica quântica, abordando de forma sucinta os conceitos de estado, representação de estado, superposição de estados, notação bra-ket, evolução temporal, observáveis, operadores, valores esperados e o operador hamiltoniano. Conforme veremos mais adiante, o trecho escolhido por Raquel (linhas 7-13) moldará o discurso das estudantes durante quase toda a atividade.

Extrato 02: recursos, restrições e conflito

14. Raquel: Eu acho, pelo que eu tô vendo aqui, que a diferença é que, tipo, a mecânica clássica ela
15. te dá as informações, tipo, direta, assim, tá tudo bem definido. Enquanto que
16. mecânica quântica, ela te dá uma interpretação probabilística disso. Porque tu não

17. tem mais, enfim, tudo bem definido.
18. Rosane: Mas a gente precisa, será, comparar cada um assim ou fazemos tudo geral?
19. Raquel: Acho que a gente pode fazer geral porque se a diferença de todos for essa...
20. Rosane: Vê se a representação de estados... Tá, tá aqui. Operadores, autovalor e autovetor.
21. Raquel: Aqui, ó. *“Grandezas observáveis e operadores... Na mecânica quântica não é possível determinar com precisão absoluta a posição de uma partícula devido à presença de efeitos ondulatórios”*. Então, tipo, tudo, tudo é mais ou menos isso.
- 22.
- 23.
24. Rosane: Hum hu. É, também tem aqui, ó. *“Operadores... Na mecânica quântica, tratamos de fato com operadores matemáticos, pois é através da aplicação de um operador matemático à função de onda que é possível gerarmos um autovalor correspondente”*.
- 25.
- 26.
27. Hum... *“Alguns exemplos... valores esperados...”*. Não tem, não é bem isso que ele quer, né? Acho que é só pra dizer, então, isso né, que a gente tem que falar. Que
28. devido a... tu vê!
- 29.

Na fala de Raquel (linhas 14-16), é possível observar o emprego da dicotomia “determinismo-probabilismo” para estabelecer a diferença entre as visões de mundo clássica e quântica. De um lado, a estudante coloca a ideia de que (em princípio) todas as variáveis em física clássica podem ser determinadas, ou seja, “tá tudo bem definido” (linha 15). De outro lado, a estudante destaca o fato de que a mecânica quântica “te dá uma interpretação probabilística” (linha 16) da natureza. Embora esta seja uma forma consistente de estabelecer uma demarcação entre a física clássica e a mecânica quântica, a explicação de Raquel não inclui os conceitos de estado, representação de estado, operadores, autovalor e autovetor (ou autofunção). Essa restrição⁴, associada à explicação utilizada por Raquel, fez com que a mecânica quântica fosse descrita em termos de seus aspectos gerais, sem incluir os conceitos específicos descritos no enunciado da questão. Isso mostra como certas “explicações textuais” destacam alguns aspectos relevantes do problema em questão, ao mesmo tempo em que ignoram outros aspectos, que podem estar presentes em outras explicações.

De acordo com Raquel, essa caracterização minuciosa não seria necessária já que “tudo é mais ou menos isso” (linha 23). Rosane, por outro lado, manteve-se insatisfeita com a explicação de Raquel e partiu em busca de uma explicação que envolvesse os conceitos de representação de estados, operadores, autovalor e autovetor (linha 20). É importante destacar que o objetivo associado à lista 9 consiste em introduzir sucintamente os conceitos associados ao formalismo matemático e não estabelecer uma distinção rigorosa entre os significados desses conceitos no contexto da física clássica e da mecânica quântica. Esse conflito entre os objetivos imediatos de Rosane e os propósitos associado à fonte textual utilizada impossibilitou que a estudante formulasse uma resposta adequada ao problema em questão (linhas 24-29), levando-a a uma solução que não corresponde exatamente à explicação esperada pelo professor, ou seja, “não é bem isso que ele quer” (linha 27-28). É importante destacar que esses dois objetivos mencionados acima se aplicam a “ação” (e.g. resolver problemas) e não aos textos de apoio ou aos estudantes isoladamente. É preciso analisar como agentes e ferramentas culturais operam em conjunto.

Extrato 03: articulação entre textos explicativos

30. Raquel: Então tem que dizer isso, que na mecânica quântica, que então seria o mundo do
31. muito pequeno, falar alguma coisa desse gênero. A gente não tem mais uma, tipo,

⁴ É importante notar que a noção de “restrição”, conforme usada em nossa análise, não deve ser confundida com *erro*. O objetivo central desse estudo é analisar como recursos textuais moldam as explicações dos estudantes e não analisar os erros nas explicações dos mesmos.

32. tudo gira em torno das probabilidades. A gente não tem mais uma, tipo, a posição e
 33. tal, bem definidas.
 34. Rosane: É, a principal diferença seria que, tipo, na clássica está tudo bem estabelecido e na
 35. quântica tu trabalha com uma idéia de probabilidade.
 36. Raquel: *“variáveis que são bem determinadas na mecânica clássica... mecânica quântica,*
 37. *substituídas por grandezas cuja determinação está associada a uma interpretação*
 38. *probabilística da natureza”.*

No extrato acima, é possível ver a tensão irreduzível entre as estudantes e as fontes textuais que elas empregam. O trecho do texto de apoio escolhido pelas estudantes como ponto de partida segue moldando fortemente suas explicações conforme elas formulam suas respostas. Um importante aspecto desse diálogo é o fato de que as estudantes parecem empregar a dicotomia determinismo-probabilismo em combinação com a explicação geral do princípio da incerteza, que afirma que é *impossível determinar simultaneamente a posição e o momentum linear de um determinado objeto quântico com precisão absoluta*. De acordo com Raquel e Rosane, diferentemente da física clássica, onde “está tudo bem estabelecido” (linha 34), na mecânica quântica “tudo gira em torno das probabilidades. A gente não tem mais uma, tipo, a posição e tal, bem definidas” (linhas 32-33).

Outro aspecto a ser destacado é o fato de que Rosane adotou a explicação empregada por Raquel, considerando apenas os aspectos gerais da mecânica quântica e não os conceitos específicos apresentados no enunciado da questão. Isso provavelmente se deve ao fato de os textos explicativos disponíveis no contexto da atividade não se mostrarem adequados para diferenciar as visões de mundo clássica e quântica a partir das noções de operadores, autovalor e autovetor.

Extrato 04: introduzindo um novo recurso textual

39. Raquel: A gente pode dizer que tem a mecânica clássica, tu tem a mecânica quântica e tu tem a
 40. dualidade, né. Tu tem a onda-partícula. Então, pelo princípio da complementaridade,
 41. tipo *“os aspectos de partícula e ondulatórios da matéria são complementares uns aos*
 42. *outros uma vez que ambos os aspectos são necessários para compreendermos as*
 43. *propriedades e a natureza da matéria...”.*
 44. Rosane: Espera aí, mas em física clássica tem que...
 45. Raquel: *“... mas ambos aspectos não podem ser simultaneamente*
 46. *observados com precisão absoluta”.*
 47. Rosane: E na física clássica, ou é onda ou é partícula.
 48. Raquel: Ou é partícula. É. E daí não tem essa dualidade. Por isso
 49. que vai existir essa probabilidade, porque tu não tem uma definição, né. Tu não pode
 50. determinar a...

Nesse extrato, Raquel introduziu uma nova explicação para demarcar a distinção entre a física clássica e a mecânica quântica. Essa nova explicação inclui a dualidade onda-partícula e está relacionada com a explicação sobre princípio da complementaridade (linha 40). O trecho do material de apoio que serviu como mediação textual encontra-se na lista 8 (linhas 41-43 e 45-46). A idéia geral é de que a diferença entre essas duas teorias pode ser descrita basicamente em termos da afirmação de que “na física clássica, ou é onda ou é partícula” (linha 47), enquanto que na mecânica quântica “tu tem a dualidade” (linhas 39-40).

Mais uma vez, as estudantes conseguiram estabelecer um critério de demarcação entre a física clássica e a mecânica quântica. Apesar disso, ainda que o argumento de Raquel tenha se estruturado em bases totalmente novas, a distinção entre as duas

teorias se manteve formulada em termos de aspectos gerais e não em termos de conceitos específicos. A nova explicação também não inclui as noções de estado, representação de estado, operadores, autovalor e autovetor (ou autofunção). Outra restrição associada a esse novo recurso textual é o fato de que a relação entre a dualidade onda-partícula e o caráter probabilístico da teoria quântica não parece tão óbvia como no caso da explicação baseada no princípio da incerteza. Em função disso, Raquel finalizou seu discurso de maneira muito confusa, afirmando que na física clássica “não tem essa dualidade. Por isso que [na mecânica quântica] vai existir essa probabilidade, porque tu não tem uma definição, né. Tu não pode determinar a...” (linhas 48-50).

Extrato 05: transparência dos textos explicativos

51. Rosane: Tu quer tentar escrever?
52. Raquel: Hum... Só não sei como começar.
53. Rosane: Pois é, eu também tô pensando nisso... Quem sabe, a gente podia começar mais ou
54. menos assim, ó. Tentar mudar isso aqui um pouco, mas botar mais ou menos isso:
55. *“variáveis que são bem determinadas em mecânica clássica, são substituídas em*
56. *mecânica quântica por grandezas cuja determinação está associada a uma*
57. *interpretação probabilística da natureza”*. E aí, a gente podia começar a falar meio
58. geral assim...
59. Raquel: Dualidade.
60. Rosane: É. E também tentar botar um pouquinho de estado, sei lá, se der.

A primeira parte desse diálogo (linhas 51-53) mostra a dificuldade das estudantes em formular uma resposta adequada ao problema. O fato delas não saberem “como começar” (linha 52) a atividade reforça a ideia de que tanto a dualidade onda-partícula como a dicotomia “determinismo-probabilismo” restringem a solução do problema em questão, embora ambas sirvam para estabelecer uma clara demarcação entre a física clássica e a mecânica quântica. Conforme podemos ver no extrato acima, esses dois aspectos da teoria quântica continuaram exercendo uma forte influência sobre o restante do discurso das estudantes, conforme mostra os enunciados de Rosane e de Raquel (linhas 55-59).

O que essa análise sugere é que os textos explicativos disponíveis no contexto sociocultural parecem ser usados com pouca ou nenhuma reflexão consciente. Inicialmente, as estudantes selecionaram a explicação que elas julgaram ser a mais adequada para utilizar no contexto da atividade. Apesar disso, suas respostas se mantiveram formuladas em termos dos aspectos gerais da teoria quântica. A sugestão de Rosane de “tentar botar um pouquinho de estado” (linha 60) representa sua última tentativa de incluir, na solução do problema, os conceitos específicos apresentados no enunciado da questão.

Extrato 06: transformação do discurso

61. Rosane: A diferença também é representação de estado. Uma função complexa.
62. Raquel: Ah, é verdade.
63. Rosane: Que na clássica não é.
64. Raquel: É, né, porque a gente tava ali na aula da Teca, daí, tipo, quando tu chega numa...
65. Rosane: Numa resposta imaginária é porque tu não consegue repetir, né?
66. Raquel: Tu não consegue, na verdade ela não está presente no mundo real, que a gente está
67. vivendo, né. Daí a gente pode, a gente pode dar esse exemplo mesmo. Aqui, ó: *“um*
68. *estado é uma forma abstrata de representação das propriedades físicas de um sistema*
69. *em função do tempo”*. Na mecânica clássica ele é representado por uma função real.

70. Na mecânica quântica, ele é representado por uma função complexa... A gente podia
 71. então começar com, não sei, tipo, a mesma coisa que diz aqui nessa parte que as
 72. regras e princípios, elas existem, digamos, para tentar descrever como o sistema
 73. evolui.
 74. Rosane: É, pode ser.
 75. Raquel: *“De um estado pra outro com o passar do tempo”.*

No início do extrato anterior, Rosane resolveu abordar o problema em termos da noção de representação de estado. Essa nova explicação aproximou as estudantes dos conceitos específicos apresentados no enunciado do problema. A inclusão de representação de estados teve como base a terceira seção do texto apresentado na lista 9. Essa seção define duas formas de representar o estado de um sistema microscópico dentro do formalismo matemático da mecânica quântica: (1) através de uma função de onda complexa; (2) através de um vetor em um espaço vetorial complexo. A idéia geral é que o estado de um sistema macroscópico, em física clássica, “é representado por uma função real” (linha 69), normalmente da posição em função do tempo, enquanto que na “mecânica quântica, ele é representado por uma função complexa” (linha 70), sendo esta a função de onda. De acordo com o depoimento das estudantes, a presença do número imaginário na função de onda está associada ao fato de que ela “não está presente no mundo real” (linha 66).

Apesar de a resposta final ao problema não incluir os conceitos de operadores, autovalor e autovetor, essa abordagem permitiu uma descrição do problema em termos da evolução temporal do estado de um sistema quântico, atribuindo às regras e aos princípios físicos (nesse caso, a equação de Schrödinger) o papel de “descrever como o sistema evolui” (linha 72-73) de “um estado para outro com o passar do tempo” (linha 75).

Os diálogos Marcelo e Diego

Após resolver o problema referente à aplicação da equação de Schrödinger para um elétron preso em um potencial quadrado infinito, Marcelo e Diego partiram para a resolução da questão apresentada no início da presente seção. Após a leitura em voz alta do enunciado da questão, realizada por Marcelo, os estudantes deram início ao seguinte diálogo.

Extrato 07: recursos, restrições e conflito

01. Diego: Eu escrevi como ele é representado, não como... É, não qual é a diferença desse...
 02. Desse estado pro... Do estado quântico pro estado clássico. Isso eu não expliquei. Eu só
 03. considerei...
 04. Marcelo: Pois é, aí a questão é que essa notação complexa, ela só tem sentido quando a gente
 05. pega o quadrado disso aí, né. E esse quadrado, ele, ele vai te dar uma probabilidade de
 06. um negócio.
 07. Diego: Hum hu.
 08. Marcelo: Aí, não é totalmente determinista como na clássica, né.
 09. Diego: É.
 10. Marcelo: Que se tu sabe o estado inicial, tu vai saber o final.
 11. Diego: Sim
 12. Marcelo: Aí nesse caso, não.
 13. Diego: como é que eu expresseo?
 14. Marcelo: Pois é, isso aí é difícil, né, da gente escrever.
 15. Diego: Então.
 16. Marcelo: Vamos ver como é que ficou o final aí, ou o estado, pode ser?

No extrato anterior, Marcelo também utilizou a dicotomia “determinismo-probabilismo” para diferenciar as visões de mundo clássica e quântica. Porém, diferentemente da explicação de Raquel e Rosane, que teve como base o princípio da incerteza, a explicação de Marcelo se apoiou no postulado de Max Born, que afirma que o quadrado do módulo da função de onda representa a probabilidade de se encontrar o objeto quântico em uma determinada região do espaço. Assim, como no caso de Raquel e Rosane, a explicação de Marcelo representa uma forma consistente de estabelecer uma demarcação entre essas duas teorias. O fato de que “essa notação complexa [...] só tem sentido quando a gente pega o quadrado disso” (linhas 04-05) e que “esse quadrado [...] vai te dar uma probabilidade” (linha 05) mostra que a física quântica “não é totalmente determinista como na clássica” (linha 08).

Apesar disso, essa explicação de Marcelo não inclui os conceitos de estado, operadores, autovalores e autovetores, embora mencione “a notação complexa” (linha 04) como uma forma de representação do estado. Essa restrição parece ser o resultado do conflito entre dois objetivos simultâneos associados à tarefa: (1) estabelecer uma demarcação entre a física clássica e a mecânica quântica; (2) definir os conceitos apresentados no enunciado da questão. Assim como no caso das meninas, o desafio dos estudantes, portanto, consiste em empregar um texto explicativo que contemple essas duas necessidades de maneira mais eficiente.

Extrato 08: recursos, restrições e transparência da linguagem

17. Marcelo: Sei lá, vai lá! A questão é que essa notação complexa, hum, só pode ser medida
18. quando tomamos o quadrado da função...
19. Diego: [escrevendo] Função... o quadrado... o quadrado da...
20. Marcelo: Não, da função...
21. Diego: [escrevendo] Da função ou o produto...
22. Marcelo: É. Bra-Ket.
23. Diego: [escrevendo] Da função de onda...
24. Marcelo: Dos autovetores Bra-Kets.
25. Diego: [escrevendo] Dos autovetores... Isto dando uma probabilidade.
26. Marcelo: É, o que nos dá a probabilidade de encontrarmos a partícula naquele estado físico.
27. Diego: Partícula? Quer dizer, não é partícula. É...
28. Marcelo: O sistema.
29. Diego: O sistema.
30. Marcelo: O sistema.
31. Diego: [escrevendo] De encontrar o sistema...
32. Marcelo: Em um dado estado. Daí convém a gente determinar o que é o estado. Aí, quem sabe,
33. entre parênteses a gente escreve. Entre parênteses a gente podia por, ó, hum... Um
34. determinado estado quântico é um estado, vamos supor, com determinadas
35. características físicas ou propriedades particulares com determinadas, com certas ou
36. determinados...
37. Diego: Propriedades físicas.

No extrato acima, os estudantes continuaram empregando a explicação geral do postulado de Born para responder à questão. Essa explicação permitiu que os estudantes se aproximassem dos conceitos de “estado” (linha 26), representação de estado, a partir das noções de “função de onda” (linha 23) e “Bra-Kets” (linha 22), e autovetores (linha 24), embora eles não tenham deixado claro que tipo de relação semântica esses conceitos deveriam implicar. Apesar dos recursos mencionados até aqui, o postulado de Born em si não fornece nenhuma definição precisa do que venha a ser o estado quântico. Essa restrição teve como resultado a afirmação confusa de

que um “determinado estado é um estado, vamos supor, com determinadas propriedades características físicas ou propriedades particulares com determinadas, com certas ou determinados...” (linhas 34-36).

Outro aspecto notável no extrato acima é a objeção de Diego com relação ao uso do termo *partícula*. Ele pareceu bastante convicto de que o ente quântico, ao qual o postulado de Born se refere, “não é [uma] partícula” (linha 27). Nesse sentido, é como se ele estivesse simplesmente dizendo “como as coisas são” e não “como elas são explicadas por um determinado grupo”. Essa falta de consciência da mediação textual é uma consequência da “transparência” (WERTSCH, 2002) da linguagem. Embora seja possível para outros indivíduos, com diferentes visões de mundo, detectar as vozes por trás de sua fala, Diego pareceu bastante inconsciente delas. A saída de Marcelo em adotar o termo “sistema” (linha 28), ao invés de partícula, permitiu que os estudantes avançassem na atividade sem ter que se comprometer com alguma interpretação particular.

Extrato 09: transformação do discurso

38. Marcelo: Melhor se nós falar do estado em física clássica
 39. Diego: Ah, sim, sim. Isso.
 40. Marcelo: A princípio, uma autofunção ou um autovetor como...
 41. Diego: [escrevendo] Na mecânica clássica... [falando] Isso é... Isso é
 42. mecânica quântica, né. [escrevendo] Na mecânica clássica...
 43. Marcelo: Um autovetor ou autofunção já nos dão então o estado...
 44. Diego: [escrevendo]: Um autovetor ou uma autofunção...
 45. Marcelo: Nos possibilita saber, ressalta esse ‘saber’, a partir de um estado fundamental, todos
 46. os outros estados que o sistema vai ter.
 47. Diego: ‘Precisa’. Precisa o estado... ‘Informa’.
 48. Marcelo: Informa, a partir do conhecimento do estado fundamental, todos os outros estados.
 49. Acho que fica bom se a gente botar um exemplo disso. Assim, por exemplo, se a gente
 50. souber a posição e a velocidade inicial...
 51. Diego: Sem... Sem nenhuma incerteza. Né? Eu sei que fica estranho. Incerteza associada. Tá, e
 52. agora...
 53. Marcelo: Quem sabe vamos escrever, né, se a gente souber a velocidade e a posição inicial de
 54. uma partícula, a gente determina todas as outras posições. Ah, esse exemplo fica bom.
 55. Esse exemplo fica bom porque dá pra gente falar o que aconteceria numa situação
 56. quântica do mesmo exemplo.
 57. Diego: Ta, mas a posição e a velocidade de uma partícula... [escrevendo] Na mecânica
 58. clássica... podemos prever...
 59. Marcelo: A trajetória, por exemplo.
 60. Diego: [escrevendo] Prever a trajetória... a trajetória. Na mecânica quântica...
 61. Marcelo: Já na mecânica quântica, não sabemos o estado inicial, por exemplo, a gente não pode
 62. saber a posição e a velocidade com precisão. Então, já dá...
 63. Diego: [escrevendo] Como ‘medir’... simultaneamente... a posição e a velocidade.
 64. Marcelo: A posição e a velocidade da partícula.
 65. Diego: Não podemos ‘determinar’.
 66. Marcelo: É isso aí. Ficou muito bom.

Ao invés de caracterizar o conceito de estado a partir de uma definição geral (entre parênteses como Marcelo havia pretendido), os estudantes mudaram de estratégia, apresentando separadamente os significados desse conceito no contexto da física clássica e da mecânica quântica. De acordo com estudantes, a mecânica clássica se caracteriza pelo fato de que é possível determinar, “a partir de um estado fundamental, todos os outros estados que o sistema vai ter” (linhas 45-46). Essa

explicação, baseada na dicotomia “determinismo-probabilismo”, foi empregada em combinação com a explicação do princípio da incerteza. O argumento de Marcelo é que “se a gente souber a velocidade e a posição inicial de uma partícula, a gente determina todas as outras posições” (linhas 53-54). “Já na mecânica quântica, não sabemos o estado inicial” (linha 61) porque “a gente não pode saber a posição e a velocidade com precisão” (linhas 61-62).

O uso das noções de posição e velocidade para definir o conceito de estado em física clássica permitiu que os estudantes fornecessem uma explicação do “que aconteceria numa situação quântica do mesmo exemplo” (linhas 55-56). A introdução desses elementos no discurso causou uma transformação fundamental na ação, aproximando a resposta dos estudantes aos dois objetivos associados à tarefa (diferenciar as teorias clássica e quântica e, simultaneamente, explicar os conceitos de estado, representação de estado, operadores, autovalor e autovetor).

Extrato 10: tomada de consciência da mediação textual

67. Diego: Tá. E agora? Operadores a gente não falou. Autovalores também.
68. Marcelo: A ideia é juntar nisso. Um. Dois...
69. Diego: Tá, os operadores, só tem operadores clássicos.
70. Marcelo: São os mesmos, né.
71. Diego: É?
72. Marcelo: Isso aqui ó, essa equação de Schrödinger aqui é basicamente o operador Hamiltoniano
73. que a gente aprende. Na verdade, eu não aprendi, mas o pessoal aprende em Clássica
74. II.
75. Diego: Hum...
76. Marcelo: A questão tá nesse ‘hagazinho’ que aparece aí.
77. Diego: [escrevendo] Os operadores... [falando] Os operadores clássicos são os mesmos?
78. Marcelo: São.
79. Diego: É... [escrevendo] Os operadores...
80. Marcelo: Vamos ver como é que acabou. Acho que dá pra gente fazer, criar um texto só, talvez.

No diálogo acima, os estudantes começaram a organizar uma estratégia para incluir em sua resposta os conceitos de operadores e autovalores. Um aspecto marcante da fala de Marcelo é sua afirmação de que os operadores clássicos “são os mesmos” (linha 70) presentes no formalismo da mecânica quântica. Essa afirmação tem como base a explicação de que “essa equação de Schrödinger aqui é basicamente o operador hamiltoniano” (linha 72).

É importante salientar que Diego e Marcelo nunca estudaram a formulação de Hamilton da mecânica clássica. Essa disciplina está presente apenas no currículo do curso de Bacharelado em Física e é provável que Marcelo tenha se apropriado dessa explicação a partir de conversas com amigos do bacharelado ou através de comentários do professor em sala de aula. Nesse caso, o processo de mediação textual parece ocorrer de forma consciente, já que o próprio Marcelo reconhece a presença de outras vozes no seu enunciado quando afirma que “na verdade, eu não aprendi, mas o pessoal aprende em Clássica II” (linhas 73-74).

Extrato 11: transformação do discurso

81. Marcelo: É, que quem age nessa mudança de um estado pro outro é o operador, né. Então essa
82. indeterminação é causada pelo tipo de operador que tá agindo.
83. Diego: Tá, repete.
84. Marcelo: Como a transição de um estado para outro se dá através desse, do operador...
85. Diego: [escrevendo] De um estado para outro...

86. Marcelo: Se dá pela ação dos operadores...
87. Diego: Acho que matematicamente falando, né.
88. Marcelo: É, matematicamente falando.
89. Diego: [escrevendo] A função dos operadores...
90. Marcelo: Entre parênteses. Vamos explicar já o autovalor e autofunção.
91. Diego: É?
92. Marcelo: É. Que nos vieram com a função, autofunção do operador. Tu aplica o operador na
93. função de onda e ele te gera um autovalor.

Ao analisar os operadores no contexto da mecânica quântica, Marcelo fez confusão entre as noções de “operador unitário de evolução” e “operador auto-adjunto”. Inicialmente, os operadores são vistos como os agentes responsáveis pela “transição de um estado para outro” (linha 84) nos sistemas físicos. A seguir, Marcelo empregou outra explicação para lidar com o conceito de operador. Nessa nova explicação, aplica-se “o operador na função de onda e ele te gera um autovalor” (linhas 92-93).

É interessante notar que os estudantes consideraram o conceito de operador como pertencente apenas ao formalismo matemático, ou seja, sua ação nos sistemas físicos ocorre apenas “matematicamente falando” (linhas 87). Apesar de não relacionar a noção de operador (auto-adjunto) com as variáveis dinâmicas do sistema físico em questão, a explicação de Marcelo permitiu que os estudantes incluíssem as noções de “autovalor e autofunção” (linha 90) na resposta, reestruturando-a e refinando-a conforme eles progrediam na atividade.

Extrato 12: a conformação na mediação textual

94. Marcelo: *“De um estado para outro se dá em função dos operadores que, aplicado às funções de onda, nos gera aos autovalores correspondentes”*. Aí a questão é que, na clássica,
95. esses operadores são... são clássicos.
96. Diego: Clássicos? Esses operadores geram autovalores determinados. [escrevendo] Os
97. operadores... geram... autovalores...
98. Marcelo: E, na mecânica quântica, o que eles geram são os valores esperados.
99. Diego: Os autovalores...
100. Marcelo: Não, os valores esperados.
101. Diego: Os operadores geram os valores... ?
102. Marcelo: Ou auto... É, só pra falar de valores esperados. O valor esperado dá bem uma noção,
103. né, que é mais ou menos o que tu espera por alguma coisa.
104. Diego: Esperados... Com incerteza associada.

Ao tentar lidar com a noção de operadores em física clássica, os estudantes usaram a explicação geral do princípio de incerteza. De acordo com Diego, “esses operadores geram autovalores determinados” (linha 97), no sentido de que não há incerteza associada a esses valores. Isso mostra o esforço dos estudantes em definir o conceito de operador e, ao mesmo tempo, diferenciar esse conceito no contexto da física clássica e da mecânica quântica.

O mais surpreendente no extrato acima, no entanto, é a inclusão da noção de “valores esperados” (linha 101) na explicação dos estudantes sobre os operadores. Apesar da inconsistência com os textos científicos, a presença desse conceito na resposta dos estudantes se deve provavelmente ao fato de que, na formulação de Schrödinger, os operadores são tipicamente introduzidos a partir do cálculo do valor esperado do momentum linear. Isso pode ter os levado a pensar que a explicação dos operadores em mecânica quântica deve necessariamente envolver a noção de valor esperado. A afirmação de Marcelo de que “o valor esperado dá bem uma noção, né, que é mais ou

menos o que tu espera por alguma coisa” (linhas 103-104), além de outras evidências encontradas nos enunciados dos estudantes, mostra que eles ainda não dominam os textos explicativos “oficiais” da mecânica quântica.

Considerações Finais

Nesse trabalho, procuramos destacar o papel da mediação textual na realização de uma tarefa sobre mecânica quântica, analisando como estudantes de um curso de Licenciatura em Física utilizam recursos textuais para moldar suas explicações. Assumimos o pressuposto de que a aprendizagem de teorias científicas tais como a mecânica quântica pode ser descrita em termos do domínio de textos explicativos da ciência, fornecidos por outros. Esses textos podem ser orais ou escritos e especificam a relação entre os fenômenos propriamente ditos e o nosso entendimento sobre eles.

Os resultados de nossa análise mostraram que as primeiras explicações utilizadas pelos estudantes baseavam-se na dicotomia “determinismo-probabilismo”, ora em combinação com a explicação geral do princípio da incerteza, ora em combinação com o postulado de Max Born. Essas abordagens, embora consistentes com a tarefa em questão, ofereceram sérias restrições aos estudantes ao impossibilitá-los de formular suas respostas em termos dos conceitos presentes no enunciado do problema. Para contornar essa restrição, as duplas de estudantes adotaram estratégias distintas: Raquel e Rosane destacaram o princípio da incerteza, a dualidade onda-partícula e a função de onda complexa; Marcelo e Diego abordaram o postulado de Born, o princípio de incerteza e o postulado de definição dos operadores em mecânica quântica. Essa introdução de novos textos explicativos na resolução da questão permitiu que os estudantes subvertessem suas respostas e se aproximassem cada vez mais de uma explicação mais completa e adequada ao problema.

Nesse processo, Marcelo e Diego conseguiram incluir em sua resposta um número maior de conceitos exigidos no enunciado do problema. Isso porque eles usaram os textos explicativos disponíveis no contexto institucional em questão de maneira muito mais livre e independente. Já Raquel e Rosane ficaram mais “presas” ao material de apoio fornecido pelo professor, o que resultou num desempenho muito mais “engessado” por parte das meninas.

A maior parte das restrições observadas nos diálogos entre os estudantes está associada ao desajuste entre os objetivos imediatos dos estudantes, que consiste em diferenciar as visões de mundo clássica e quântica fazendo uso dos conceitos exigidos no enunciado da questão, e os propósitos associados aos textos de apoio usados como recursos textuais. Esse conflito de objetivos fez com que a tarefa em questão estivesse muito além da capacidade dos estudantes, especialmente porque nenhum deles havia estudado formalmente a formulação de Hamilton da mecânica clássica, assim como a formulação de Dirac da mecânica quântica.

Obviamente, muitos dos trechos analisados mostraram que os estudantes ainda não dominam nem mesmo os textos explicativos da mecânica ondulatória. Ainda assim, eles foram capazes de manipular, com certo sucesso, algumas das explicações textuais da mecânica quântica. Esse processo parece ocorrer com pouca ou nenhuma reflexão

consciente por parte dos estudantes. Em consequência disso, as restrições impostas pelos recursos textuais utilizados nem sempre foram detectadas por eles.

De um modo geral, a presença de textos mediadores em nossos enunciados apenas se torna perceptível quando os comparamos com recursos textuais mais adequados, empregadas por outros indivíduos em outros contextos. Desse modo, entendemos que a mediação textual é um aspecto do ensino de ciências que precisa ser explicitado. Ainda que os recursos textuais não definam mecanicamente nosso discurso, sua influência é poderosa e precisa ser reconhecida e examinada (WERTSCH, 2002). A tomada de consciência com relação aos recursos textuais que utilizamos pode ser um importante instrumento para evitarmos formas de discurso indesejáveis ou inadequadas para certos contextos. Esse é um exercício que deveria ser fomentado no âmbito da educação em ciências.

Agradecimentos

A segunda autora desse trabalho agradece ao apoio parcial do CNPq.

Referências

- BAKHTIN, M. M. **The dialogic imagination: Four essays** by M. M. Bakhtin. Austin: University of Texas Press. 1981.
- BAKHTIN, M. M. **Speech genres and other late essays**. Austin: University of Texas Press. 1986.
- HACKING, I. **Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science**. Cambridge: Cambridge University Press. 1983.
- OGBORN, J.; KRESS, G.; MARTINS, I.; MCGILLICUDDY, K. **Explaining science in the classroom**. Buckingham: Open University Press. 2006.
- VIGOTSKI, L. S. O método instrumental em psicologia. In: _____. **Teoria e método em psicologia**. 3 ed. São Paulo: Martins Fontes. 2004. p. 93-102.
- VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes. 1987.
- VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 5 ed. São Paulo: Martins Fontes. 1994.
- WERTSCH, J. V. **Vygotsky and the social formation of mind**. Cambridge: Harvard University Press. 1985.
- WERTSCH, J. V. **Voices of mind: A sociocultural approach to mediated action**. Cambridge: Harvard University Press. 1991.
- WERTSCH, J. V. **Mind as action**. Cambridge: Oxford University Press. 1998.
- WERTSCH, J. V. **Voices of collective remembering**. New York: Cambridge University Press. 2002.
- WERTSCH, J. V. Mediation. In: DANIELS, H.; COLE, M.; WERTSCH, J. V. (Eds.) **The Cambridge companion to Vygotsky**. Cambridge: Cambridge University Press. 2007, p. 178-192.

Recebido em março de 2011, aceito em Julho de 2012.