

USO DE UM MODELO SEMIÓTICO PARA ANÁLISE DOS ATOS DE SIGNIFICAÇÃO DE INSCRIÇÕES DIDÁTICAS

Helder de Figueiredo e Paula¹,

Esdras Garcia Alves²

1 Universidade Federal de Minas Gerais – Colégio Técnico, helder100@gmail.com

2 Universidade Federal de Minas Gerais – FAE / Mestrando em Educação, egafisica@yahoo.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta e utiliza um modelo semiótico concebido para a análise de inscrições didáticas. O modelo que utilizamos é muito similar ao proposto por Roth et al. (2005), mas possui diferenças importantes derivadas de outras escolhas teóricas que realizamos. Tanto o conceito de inscrições didáticas, quanto parte do referencial teórico que lhe dá sustentação são apresentados em uma seção apropriada. Em relação a esse referencial, damos destaque ao conceito de níveis de referencialidade (MORTIMER et al., 2007) e a conceitos apropriados da obra de Peirce (1975). Após a utilização do modelo semiótico na análise de uma inscrição didática específica, nós apresentamos dados extraídos de uma avaliação formal na qual uma turma de estudantes foi solicitada a utilizar a referida inscrição. Em nossas considerações finais apresentamos algumas lições da experiência de ensino e aprendizagem em que procuramos introduzir tópicos de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica.

Palavras-chave: representações visuais; inscrições didáticas; semiótica; ensino de física moderna e contemporânea.

ABSTRACT

This paper presents and exploits a semiotic model conceived to make an analysis of inscriptions used in science education. This model is similar to that proposed by Roth et al. (2005), but has some differences according to other theoretical frameworks that we have adopted. The concept of didactic inscription and other theoretical concepts that we have used are going to present in an appropriated section. We will highlight the concepts of reference level (MORTIMER et al., 2007) and the semiotic of Charles Sanders Peirce. After using the semiotic model in a semiotic analysis of one didactic inscription, we will present some results of a formal student's evaluation and discuss these results through our semiotic model. Finally, we present some lessons of our research about some questions related to the objective of introducing modern and contemporary physics in high school.

Keywords: visual representations, didactic inscriptions, semiotics, teaching modern and contemporary physics.

1 INTRODUÇÃO:

A pesquisa que deu origem ao presente artigo faz parte de um projeto de mestrado que tem por objetivo analisar as representações visuais e outros recursos semióticos utilizados em projetos de ensino e em textos didáticos dedicados a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação Básica. Esse objeto de estudo surgiu por ocasião de nossa participação em uma pesquisa de validação de uma seqüência de ensino em que decidimos empregar noções de Física de Semicondutores como estratégia para abordar tópicos de FMC no Ensino Médio. Essa seqüência foi utilizada em uma turma da 3ª série do Ensino Médio do período noturno de uma escola pública situada na periferia de Contagem, cidade da região metropolitana de

Belo Horizonte. Na concepção do texto didático usado na seqüência, vimo-nos obrigados a produzir uma quantidade razoável de *representações visuais*, de agora em diante denominadas *inscrições didáticas*, para mediar o acesso dos estudantes a certos aspectos dos modelos e teorias produzidos pela Física de Semicondutores.

O discurso que afirma a necessidade de atualizar o currículo de física na Educação Básica (EB) mediante a inserção de tópicos de FMC certamente não é novo. Para Osterman e Moreira (2000) há um marco importante na história das reflexões sobre esse tema: a Conferência sobre o Ensino de Física Moderna, realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, em Batavia, no estado de Illinois, em 1986.

O aumento expressivo do número de artigos publicados na área de educação em ciências, contendo uma defesa a favor da inserção da FMC na EB, a partir da década de 1990, e a crescente presença desse tema em eventos que congregam professores e pesquisadores, provavelmente estão relacionados à realização dessa conferência. Além disso, é importante ressaltar a presença de conteúdos de FMC em programas de vestibular. Esse último fenômeno, por sua vez, foi responsável pela introdução de tópicos de FMC nos livros texto dedicados ao ensino de física no nível médio.

Nossa escolha pelo uso de dispositivos semicondutores para introduzir a FMC na EB deve-se: (a) ao baixo custo desses dispositivos; (b) à facilidade de obtenção dos mesmos; (c) ao baixo risco inerente a sua manipulação; (d) à presença desses dispositivos em equipamentos utilizados pelos estudantes. Na revisão bibliográfica que nós realizamos nas publicações dedicadas ao ensino da física, nós praticamente não encontramos pesquisas voltadas à avaliação de experiências de introdução de física de semicondutores na educação básica. A única exceção foram os trabalhos de Carmona (2006a, 2006b) que fazem referência à análise de uma unidade de ensino desenvolvida com alunos do segundo ciclo da educação secundária obrigatória espanhola (ESO), na faixa dos 14 aos 16 anos.

Parte significativa das concepções alternativas identificadas por Carmona (2006a) na compreensão da Física dos Semicondutores pelos estudantes está vinculada ao conceito de buraco e ao processo de criação de pares elétron-buraco. Nossa interpretação dos recursos utilizados na experiência educacional relatada nesse trabalho indicava que muitas das falhas apontadas na compreensão dos estudantes poderiam ser evitadas se o material de ensino incluísse o que é conhecido na física de semicondutores como modelo de bandas. Essa hipótese reforçou nossa tendência a incorporar esse modelo no material que produzimos.

A avaliação do nível de compreensão dos estudantes acerca das inscrições didáticas que produzimos naquela ocasião nos levou à conclusão de que a interpretação desses recursos de ensino era muito mais difícil do que imaginávamos, quando nós os produzimos e os inserimos no texto didático da seqüência de ensino. A grande dependência de nossa seqüência das inscrições que nela estão reunidas nos conduziu à seguinte questão: que práticas são necessárias à leitura e à compreensão das inscrições didáticas? Para respondermos a essa questão, tomamos a decisão de estudar as características das inscrições didáticas e dos processos por meio dos quais ocorre sua interpretação. Foi esse movimento que acabou por nos levar ao conceito de níveis de referencialidade proposto por Mortimer et al. (2007), à semiótica de Peirce e a um modelo semiótico originalmente proposto por Roth et al. (2005) para a análise de inscrições didáticas. Voltaremos a esses temas na próxima seção deste artigo.

Tal como pretendemos demonstrar adiante, o modelo semiótico que temos utilizado e desenvolvido torna possível conceber o ato de leitura e interpretação de uma inscrição didática por meio da análise de três processos denominados pré-identificação, transposição e translação. O modelo supõe que, juntos, esses processos promovem a mediação entre os signos que compõem as inscrições e seus respectivos referentes. O modelo será empregado neste artigo para sugerir atos de significação necessários à interpretação de uma das inscrições que produzimos e utilizamos em nossa seqüência de ensino sobre Física de Semicondutores. Trazemos ainda, dados sobre a capacidade dos estudantes em utilizar essa inscrição como uma mediação para a compreensão do efeito do aquecimento sobre as propriedades elétricas de um cristal de silício.

2 MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, delimitaremos os sentidos que nós atribuímos a algumas noções centrais para a análise que fazemos dos processos de interpretação das representações visuais usadas na educação em ciências. A primeira noção é o conceito de *inscrição didática* que designa de modo genérico objetos tais como, fotografias, tabelas, gráficos, diagramas, fluxogramas e equações. A segunda noção é o conceito de signo que será abordado principalmente, mas não exclusivamente, na perspectiva apresentada por Peirce. A terceira noção é o conceito de nível de referencialidade que nos ajudará a compreender algumas das classes de objetos que funcionam como referentes dos signos. Esses conceitos serão apresentados nesta seção de modo a explicitar a perspectiva a partir da qual nós interagimos com o modelo semiótico para a análise de inscrições didáticas proposto por Roth et al. (2005). Na seção seguinte usaremos esse modelo na análise de uma inscrição didática.

Alguns trabalhos que têm utilizado a noção de inscrição didática (ver, por exemplo, BOWEN e ROTH, 2005; BARAB, et al., 2007; WU e KRAJCIK, 2006) sugerem que os trabalhos de Roth e McGinn (1998) e Lemke (1998) estão entre os primeiros a propor a pertinência dessa noção para a pesquisa e a prática da educação em ciências. A noção de inscrição foi originalmente utilizada por Latour e Woolgar (1997) para caracterizar, desde um ponto de vista etnográfico e sociológico, o processo de produção de conhecimentos nas ciências naturais. Na obra desses autores, tal noção é progressivamente construída à medida que vai sendo utilizada para descrever diversos aspectos da “vida” de um laboratório de pesquisas em neurofisiologia. Uma inscrição é definida, inicialmente, como um registro sintético de informações e conhecimentos produzidos em um laboratório de pesquisa, que pode se apresentar na forma de fluxogramas, espectros ou gráficos, por exemplo. A produção de artigos científicos por meio dos quais os resultados das pesquisas são publicados giram em torno das inscrições. A esse respeito, Latour e Woolgar (1997: 45) nos dizem que:

A noção de inscritor tem uma conseqüência essencial: ela estabelece uma relação direta com a “substância original”. As discussões sobre a propriedade da substância têm como foco o esquema ou a curva. A atividade que separa essas duas etapas e os processos – por vezes longos e caros – que elas desencadearam ficam ocultados quando se discute o significado dos dados obtidos. O diagrama final torna-se ponto de partida do processo sempre renovado de escrita dos artigos sobre a substância em questão. Nos escritórios são produzidos os artigos que comparam e opõem esses diagramas a outros que com eles se parecem, e aos que se encontram nos artigos já publicados.

Na obra de Latour (LATOURE e WOOLGAR, 1997; LATOUR, 2000) a noção de inscrição desempenha um papel central para a compreensão dos processos a partir dos quais os enunciados são transformados em fatos e passam a serem utilizados na produção de novos fatos e de novos conhecimentos. Ao participarem desses processos muitas inscrições acabam por serem confundidas com os próprios fenômenos dos quais surgiram, apesar de não poderem ser adequadamente consideradas como substitutos autênticos desses fenômenos e nem mesmo como suas representações. A forte associação entre um fenômeno investigado em um empreendimento científico e as inscrições produzidas nessa investigação faz com que uma inscrição particular, como um gráfico, por exemplo, possa vir a ser considerada como um avanço científico ou como uma evidência favorável ou contrária a uma dada teoria.

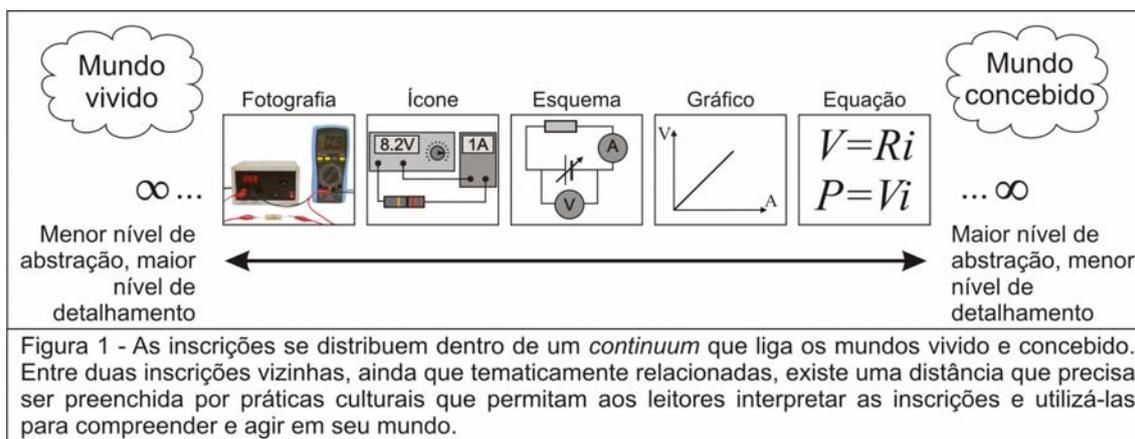
Segundo Paula (2004), tanto a produção das inscrições quanto o ato de inscrevê-las em um texto que reúne certo fragmento do conhecimento produzido na “vida” de um laboratório, não devem ser compreendidos meramente como um método de transferência de informação. Tratam-se,

isso sim, de um conjunto de ações por meio das quais se dá a criação de ordem em um universo caótico de acontecimentos que não passariam de um amontoado de sensações desordenadas e desprovidas de significado, sem o auxílio dos conceitos e teorias que dão sentido às inscrições e aos conhecimentos gerados a partir delas.

Homologamente ao papel que desempenham as inscrições nas ciências, a função de uma inscrição didática é a de recriar uma ordem diretamente derivada dos mundos concebidos pelas ciências, de modo a permitir o acesso dos estudantes a esses mundos. Trata-se de uma ferramenta cultural criada e utilizada nas ciências naturais e adaptada para promover a educação em ciências. Ao optarmos pelo uso do termo inscrição didática no lugar da expressão *representação visual* nós nos afiliamos ao entendimento de que: (i) ao ilustrar o modo como observamos ou concebemos um dado fenômeno nós não estamos efetivamente representando o fenômeno, mas (re)produzindo um dado modo de considerá-lo ou interpretá-lo; (ii) ilustrações destinadas a descrever ou explicar fenômenos naturais, apesar de seu aspecto visual, se assemelham a outros objetos tais como gráficos, diagramas ou equações, na medida que também pressupõem o domínio de certo conjunto de códigos e procedimentos de interpretação.

A figura 1 a seguir foi inspirada em uma imagem semelhante encontrada em Roth et al. (2005) e situa diversos tipos de inscrições didáticas dentro de um continuum que se estabelece entre o mundo vivido e o mundo concebido, sobre os quais falaremos mais adiante. Se nos movemos na figura 1, da esquerda para a direita, aumentamos a quantidade de eventos e fenômenos associados a uma dada inscrição, ao mesmo tempo em que diminuimos a quantidade de informações que ligam a inscrição a um contexto particular. A fotografia da figura 1 diz respeito a um circuito elétrico muito particular, contendo uma fonte de tensão variável, com voltímetro, ligada por meio de cabos a um resistor comercial e a um amperímetro. O esquema da figura 1 representa esse tipo de circuito por meio de símbolos que indicam a presença dos mesmos tipos de elementos. Por fim, as equações não estão ligadas ao contexto particular de um circuito e podem ser aplicadas a vários dispositivos e situações.

A escolha dos signos utilizados para compor as inscrições da figura 1 é mediada por um conjunto de convenções que regulam a circulação e o uso desses diferentes tipos de inscrição por uma determinada comunidade em um dado conjunto de práticas culturais. Desse modo, para que um leitor possa interpretar cada uma dessas inscrições de modo similar aos membros da comunidade onde a mesma foi originalmente concebida é necessário que ele se aproprie de algum conhecimento compartilhado por esse grupo. Veremos na próxima seção deste artigo como esse conhecimento compartilhado permite ao leitor associar os sinais impressos em uma folha de papel aos mundos vivido e concebido.



Para apresentar o conceito de signo, vamos nos apoiar em Vygotsky (1991 e 1999) para quem todas as funções intelectuais superiores encontradas nos seres humanos envolvem algum tipo de mediação semiótica ou, em outras palavras, pressupõem o uso de um sistema de signos. O signo, por sua vez, pode ser definido de maneira preliminar simplesmente como um objeto que, para alguém em um dado contexto, está no lugar de outro objeto, sendo a semiótica definida como a teoria geral dos signos (ECO, 1980). Devido à brevidade de sua obra, Vygotsky restringiu a sua

abordagem da noção de signo ao tratamento da noção de conceito. O conceito é necessariamente um signo de um ou de vários objetos. Por isso, a função lógica dos conceitos é a de “ocupar o lugar de outras coisas” e a compreensão dessa função pressupõe uma análise semiótica dessa relação.

Na condição de signo, a função primordial de qualquer conceito é a da comunicação e, na medida em que participa de sistemas conceituais ou sistemas de signos, o conceito também desempenha uma segunda função primordial: a estruturação do pensamento. Desde esse ponto de vista, o conhecimento humano é, essencialmente, o resultado da invenção e da utilização de signos. D’Amore (2005) resume esse ponto de vista ao afirmar que não existe *noesis* sem *semiosis*. Vygotsky nos ajuda a compreender a língua materna como um sistema de signos que permite às crianças se apropriarem de seus primeiros conceitos ao internalizarem sentidos atribuídos às palavras pelos adultos ou por pares mais experientes. Outras linguagens (ou sistemas de signos) historicamente produzidas estão disponíveis no meio sócio-cultural, como é o caso da linguagem algébrica ou gráfica, por exemplo. A partir do momento que um estudante se apropria dessas linguagens ampliam-se as possibilidades de significação desse sujeito e esse é um dos fatores que determinam seu desenvolvimento.

O conhecimento científico pode ser considerado como associado a sistemas de signos e a práticas culturais que diferem daqueles encontrados na língua materna e nas práticas cotidianas. Alinhando-nos com uma perspectiva apresentada por Bahktin e seu círculo (1999), nós acreditamos que o conhecimento científico constitui e é constituído por uma forma específica de linguagem social. Essa afirmação tem implicações importantes para a educação em ciências e para a compreensão do papel das inscrições didáticas. A principal implicação é que o caminho para permitir a compreensão e o uso eficaz de inscrições pelos estudantes passa por engajá-los em práticas culturais mediadas pelas inscrições. As inscrições que utilizamos em nossa seqüência são ferramentas culturais sendo, por isso, inerentemente públicas e compartilháveis.

Peirce (1975) propõe uma teoria geral dos signos a partir de três conceitos: signo, referente e interpretante. O signo deve ser entendido como um objeto qualquer que pode ser um gesto, um som, uma imagem ou um objeto abstrato como um conceito ou um raciocínio. O objeto que o signo substitui é seu referente. Assim como o próprio signo, tal objeto pode ser um objeto material, um evento, uma idéia (outro conceito) ou mesmo uma articulação entre idéias que dá origem a uma lei ou a um raciocínio. A noção de interpretante é necessária porque a relação entre signo e referente não é unívoca, sendo muito mais problemática do que pode parecer à primeira vista. Assim, por exemplo, as letras usadas para identificar as vogais são signos e podem se referir aos sons vocálicos que produzimos com a ajuda de nossas pregas vocais, mas também podem ter como referentes os parâmetros usados em equações algébricas. Ao nos depararmos com um desses parâmetros diremos o som da vogal “a”, mas estaremos pensando no coeficiente angular de uma reta, por exemplo.

O fato da relação signo-referente não ser fixa faz do interpretante um elemento chave na compreensão dessa relação, visto que o interpretante media a relação signo-referente e contribui para que um dado signo refira-se a um dado referente. A noção de interpretante é a mais difícil de ser definida sem o apelo a exemplos. Às vezes essa noção nos remete ao intérprete que estabelece a relação entre signo e referente, mas na maioria das vezes o interpretante se refere a um conceito que estabelece a relação entre o objeto signo (seja ele teórico ou empírico) e o objeto referente (seja ele teórico ou empírico). O interpretante é um terceiro objeto, sendo ele também um signo, que por essa razão depende de outro interpretante, em uma progressão que se estende de modo indefinido até, talvez, alcançar um signo de si mesmo (Peirce, 1975: 96). A tríade signo-referente-interpretante, a partir da qual Peirce ergueu sua semiótica, deu origem a três tricotomias. A primeira delas distingue os signos em função das características que lhes são intrínsecas. Nesse caso, há signos que devem ser entendidos como: (i) qualidades ou atributos (chamados quali-signos) e que, portanto, são conceitos; (ii) objetos ou eventos concretos (chamados sin-signos) que substituem outros objetos não necessariamente concretos; (iii) relações a que se atribui o caráter de lei (legi-signos) e que, portanto, também são conceitos ou raciocínios.

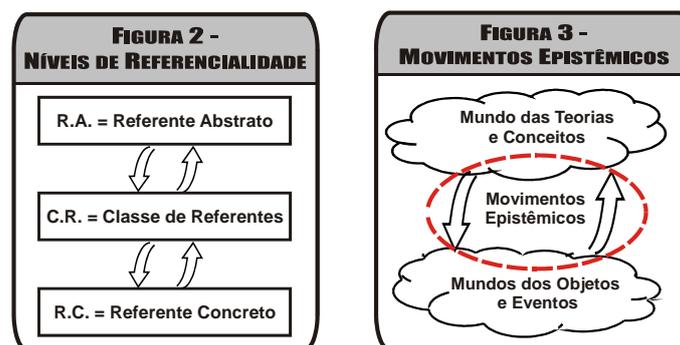
A segunda tricotomia, a mais difundida e citada, identifica os signos do ponto de vista de sua relação com o objeto que eles substituem. Nesse segundo caso, distinguem-se os: (i) ícones que

têm características intrínsecas também encontradas nos objetos que substituem; (ii) índices (ou indicadores) que são afetados ou que afetam os objetos que substituem mediante relações causais; (iii) símbolos cuja relação com os objetos que substituem é o resultado de convenções radicalmente arbitrárias. A terceira tricotomia diferencia os signos em função do modo como eles são concebidos pelo interpretante. Nesse caso, existiriam os signos: (i) chamados de *remas* que nos remetem a objetos possíveis e que pertencem aos mundos possíveis concebidos pelas teorias científicas (signos teóricos ou de possibilidades); (ii) chamados *dicentes* que nos remetem a objetos e eventos concretos (acreditamos que aquilo que o signo substitui efetivamente existe); (iii) chamados *argumentos* que nos remetem a uma lei ou a uma relação de natureza lógica.

Alguns aspectos da semiótica, tal como definida por Peirce, nos parecem ser particularmente promissores, embora não os tenhamos explorado ainda a contento. Um desses aspectos é a compreensão de que uma dada relação signo-referente emerge da consideração simultânea das três tricotomias, o que nos dá uma primeira aproximação da complexidade dessa relação. Um segundo aspecto é a sugestão de que o grau de arbitrariedade que se pode imputar a essa relação varia desde um máximo de arbitrariedade, no caso de um símbolo, até um grau bem menor, no caso de um índice. Assim, por exemplo, fumaça é índice de fogo, sendo essa uma relação causal e não meramente arbitrária.

Uma noção que faz parte de nosso referencial teórico e que estamos articulando com a teoria dos signos é o conceito de níveis de referencialidade de Mortimer et al. (2007). Nós elaboramos as figuras 2 e 3, a seguir, como um recurso de apoio à apresentação desse conceito, do modo como nós o entendemos. De acordo com Mortimer et. al. (idem), as ações de linguagem por meio das quais o conhecimento científico é apresentado e discutido em sala de aula envolvem a produção de enunciados que ora tomam como base referentes concretos, tais como a água líquida, o gelo e o vapor de água de nosso dia a dia, ora tratam de referentes abstratos como é o caso, por exemplo, do conceito de fases da matéria (sólida, líquida ou gasosa). Os referentes concretos estão associados ao mundo dos objetos e eventos, mencionado na figura 3, enquanto os referentes abstratos seguem associados ao mundo das teorias e conceitos.

Do ponto de vista dos níveis de referencialidade, a passagem de referentes concretos a referentes abstratos (e vice-versa) geralmente implica na produção de enunciados que envolvem classes de referentes, como mostra a figura 2. Uma classe de referentes concretos é, por exemplo, o conceito de gás, desde que o signo *gás* esteja relacionado a diferentes referentes concretos tais como o ar atmosférico, o gás usado para encher balões ou o gás usado na cozinha de nossas casas. Uma classe de referentes abstratos é, por exemplo, o conceito de partícula, que trata de forma genérica os elementos microscópicos (átomos e moléculas) que constituem os gases.



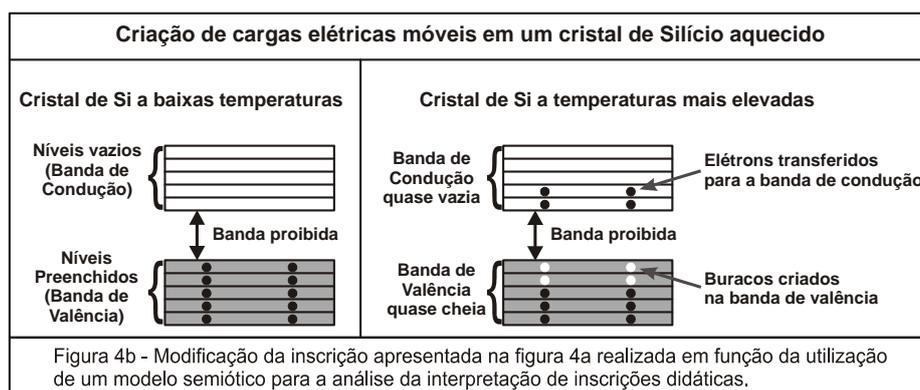
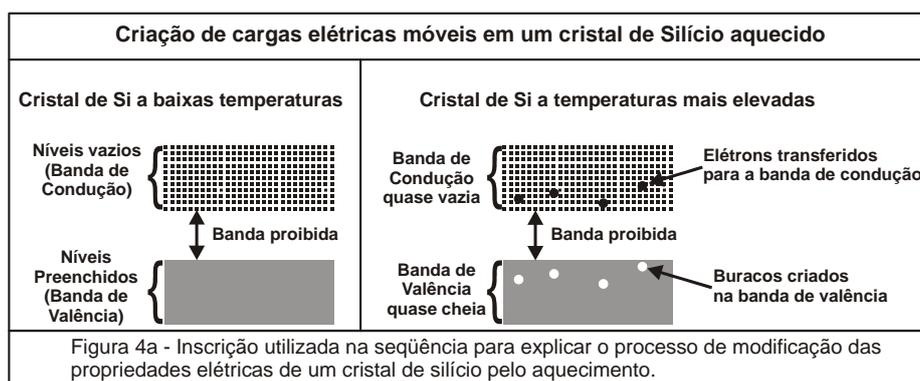
Os movimentos epistêmicos sinalizados pela figura 3 conectam os mundos possíveis concebidos por meio das teorias, modelos e conceitos das ciências com os mundos vividos ou mundos da experiência, no interior dos quais estão situados os objetos e eventos que constituem nosso conceito sócio-histórico de “realidade”. A generalização, por exemplo, é um movimento epistêmico que permite o estabelecimento de uma relação entre diferentes referentes concretos com um dado conjunto de conceitos articulados por um modelo ou teoria. A inferência dedutiva, por outro lado, faz o movimento contrário, e permite a produção de previsões oriundas das teorias e

modelos que tenham em vista uma classe de referentes à qual podem se vincular um ou mais referentes concretos.

Os modelos e o processo de modelamento também podem ser classificados como movimentos epistêmicos. Os modelos surgem como idealizações da experiência, tendo em vista critérios definidos por uma teoria mais, ou menos estruturada. Eles também são, por outro lado, frutos de apropriações intencionalmente simplificadoras de uma teoria bem estabelecida ou o resultado do uso de teorias ainda incipientes. Por meio de um jogo de transformações internas entre os elementos de um modelo, reunimos o que julgamos observar ao que atribuímos ao mundo dos objetos e eventos a partir das entidades e processos que compõem o mundo teórico-conceitual. Ao nos auxiliar a conceber processos invisíveis ou inacessíveis à observação, os modelos nos permitem interpretar o que julgamos observar, desde um ponto de vista lógico e coerente.

3 ANÁLISE DE UMA INSCRIÇÃO QUE COMPÕE A SEQÜÊNCIA DE ENSINO

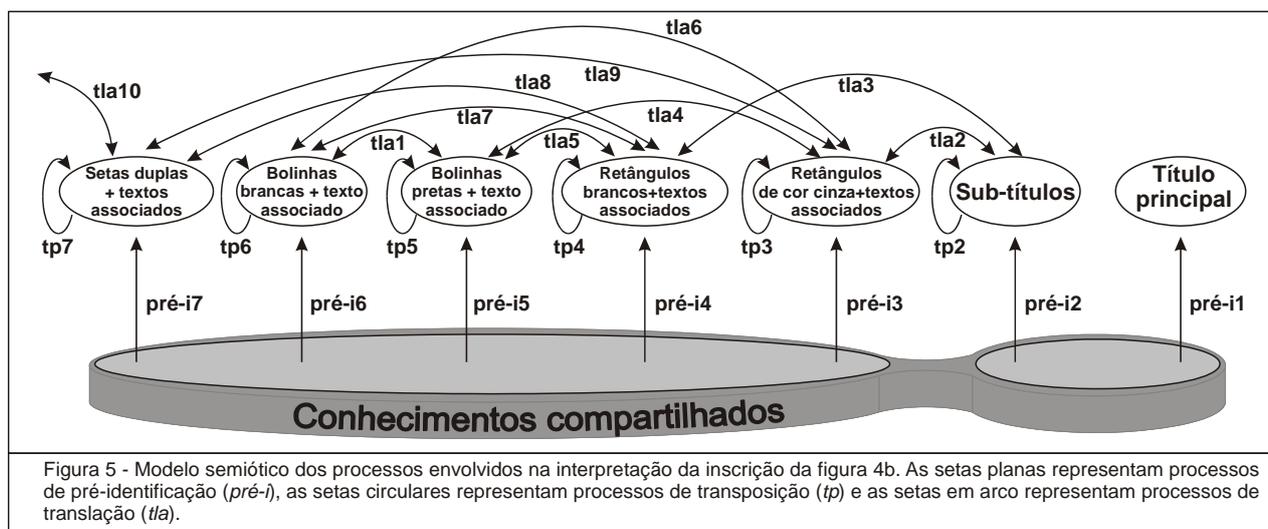
Nesta seção utilizaremos um modelo inspirado em Roth et al. (2005) para a análise da inscrição didática apresentada na figura 4b. As figuras 4a e 4b, reproduzidas a seguir, descrevem o efeito produzido sobre as bandas de energia de um cristal de silício submetido ao aquecimento. A versão 4a desta figura coincide com aquela que foi efetivamente usada na seqüência de ensino elaborada por nós. A versão 4b contém modificações criadas como um aperfeiçoamento da figura 4a, que emergiram da análise do processo de interpretação dessa inscrição a partir da utilização do modelo semiótico que apresentaremos e utilizaremos nesta seção.



Na seqüência de ensino, essa inscrição está situada em uma seção destinada a explicar como o aumento de temperatura de um condutor metálico ou de um material semiconductor pode modificar suas propriedades elétricas. Os textos e as inscrições anteriores já haviam tratado da estrutura do átomo, da quantização da energia de seus elétrons e da formação de bandas de energia em sólidos. O modelo semiótico que identifica os processos envolvidos na leitura e interpretação da inscrição reproduzida na figura 4b segue apresentado por meio da figura 5.

As duas elipses de cor cinza, mais abaixo na figura 5, referem-se a dois conjuntos de signos que têm funções diferentes na inscrição. Na elipse da direita encontram-se os signos verbais cuja função é a de situar o leitor em relação ao tema da inscrição e ao fenômeno do qual ela trata. A elipse da esquerda situa signos híbridos formados por textos e imagens, que representam entidades

pertencentes ao mundo concebido, tais como elétrons, buracos e bandas de energia proibida ou permitida. Essas duas elipses repousam sobre uma base de conhecimentos compartilhados, necessários ao processo de leitura da inscrição.



O modelo semiótico apresentado na figura 5 prevê a existência de três processos mediante os quais se dá a interpretação de uma inscrição: pré-identificação, transposição e translação. Por meio dos processos de pré-identificação, o leitor associa cada signo com um objeto que pertence ao mundo concebido¹ e que funciona como seu referente. O primeiro processo de pré-identificação, denominado pré-i1 na figura 5, remete o título da figura ao seu tema. O processo pré-i1 é anterior a todos os outros e levará o leitor a procurar na inscrição os recursos que o ajudem a compreender como o aquecimento modifica a configuração dos portadores de carga elétrica em um semiconductor. A referência dos outros elementos que compõem a inscrição é feita mediante outros processos de pré-identificação (pré-i2 a pré-i7).

O processo pré-i2 leva o leitor a perceber os textos “Cristal de Si a baixas temperaturas” e “Cristal de Si a temperaturas mais elevadas” como subtítulos da inscrição. O conceito de subtítulo é, por essa razão, o signo a que esses dois textos estão associados. Outros processos de pré-identificação são necessários para conectar o restante dos signos que compõem a inscrição e que são formados por sinais pictóricos e textos (signos híbridos): (a) os retângulos de cor cinza são associados ao objeto abstrato denominado banda de valência (pré-i3); (b) os retângulos brancos são associados ao objeto abstrato banda de condução (pré-i4); (c) as bolinhas pretas são associadas ao objeto abstrato elétrons (pré-i5); (d) as bolinhas brancas associam-se aos objetos abstratos denominados buracos, ou ausências de elétrons (pré-i6); (e) as setas duplas conectam-se ao objeto abstrato banda proibida (pré-i7). Esses processos permitem a associação dos sinais impressos na folha de papel a esses referentes, mas a interpretação da inscrição depende, ainda, dos processos de transposição e translação que descreveremos a seguir.

Os processos de transposição levam o leitor a constatar a presença de réplicas de um mesmo signo na inscrição ou a comparar signos semelhantes entre si. Um primeiro processo de transposição, denominado de tp2 na figura 5, permitirá ao leitor comparar os dois subtítulos um com o outro, de modo a compreender que os dois lados da inscrição tratam do mesmo material em duas situações distintas. O processo de transposição tp3 dá início à comparação entre as duas ocorrências de retângulos de cor cinza e dos diferentes textos situados à esquerda de cada um deles. Essa comparação, todavia, não se resume ao processo de transposição. Tal comparação pressupõe a conexão entre os processos pré-i3 e tp3, que se referem ao signo retângulo cinza, e outros processos de pré-identificação e de transposição efetuados nos signos - bolinhas pretas, bolinhas brancas,

¹ Em um caso mais geral do que o que analisamos aqui a relação signo-referente por nós denominada como pré-identificação não se restringe a associação entre signos e objetos abstratos. Qualquer associação entre um signo e seu referente é denominada pré-identificação em nosso referencial teórico.

subtítulos - presentes na inscrição. A conexão entre diferentes signos de uma mesma inscrição é realizada por meio de um processo denominado translação. Em outras palavras, a comparação iniciada em tp3, que permite a identificação de semelhanças e diferenças entre as duas réplicas dos retângulos de cor cinza, depende dos processos de translação (tla2, tla4, tla6). É o conjunto de todos esses processos que permitem ao leitor compreender que o retângulo cinza do lado direito apresenta menos elétrons e contém buracos, inexistentes no retângulo cinza do lado esquerdo. Depende também desses processos e, particularmente dos processos pré-i2 e tp2, o entendimento de que essa transformação está associada ao aquecimento do cristal de silício.

A articulação entre o processo de transposição e as translações que emergem do signo híbrido “retângulo branco” é análoga àquela descrita para o caso do signo “retângulo cinza”. Além desse, há outros processos de transposição e translação que serão brevemente mencionados. O símbolo “bolinha preta”, cuja interpretação se inicia com os processos pré-i5 e tp5, adquire realmente sentido em função dos contextos nos quais é inserido. São os processos de translação tla1, tla4 e tla5, identificados na figura 5, é que nos levam à percepção desses contextos.

A compreensão do símbolo híbrido “seta dupla”, o último que será aqui analisado, começa a ser significado por meio dos processos pré-i7 e tp7, mas depende dos processos de translação tla8, tla9 e tla10 para se completar. Por meio dos processos tla8 e tla9, o leitor da inscrição compreende que o objeto abstrato banda proibida define-se como uma zona situada entre duas bandas de energia permitidas: a banda de condução (pré-i4 e tp4) e a banda de valência (pré-i3 e tp3). A translação tla10, por sua vez, indica um movimento epistêmico conhecido como intertextualidade.

Diferentemente das outras translações mencionadas, que são de natureza intratextual, a translação tla10 remete a inscrição reproduzida na figura 4b às diversas outras manifestações do modelo de bandas presentes nas inscrições distribuídas ao longo da seqüência de ensino. Por meio dessas outras inscrições, o leitor da figura 4b poderá compreender que os movimentos atribuídos a alguns elétrons do silício, em função do aquecimento do material, dependem do fato de que a banda proibida encontrada nesse material é suficientemente pequena para permitir esses movimentos. O mesmo não acontece, portanto, no caso das bandas proibidas encontradas em condutores metálicos ou em materiais isolantes.

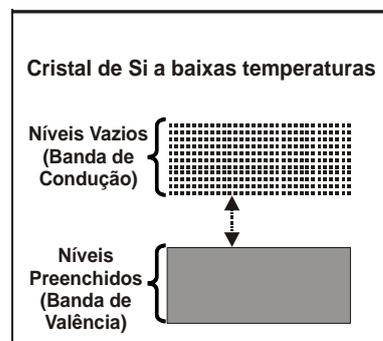
Por fim, é importante mencionar que não foram representados, na figura 5, nenhum dos processos de translação entre os signos que compõem a figura 4b e o título dessa figura. Essas translações efetivamente existem, mas sua sinalização na figura 5 diminuiria a inteligibilidade da mesma.

4 ANÁLISE DE UMA ATIVIDADE ENVOLVENDO A MANIPULAÇÃO DE UMA INSCRIÇÃO

A atividade reproduzida a seguir é uma questão retirada da avaliação final aplicada aos estudantes que utilizaram nossa seqüência de ensino.

11- A figura desta questão mostra duas bandas de energias permitidas em um cristal de Silício a baixas temperaturas. Sabe-se que a situação exibida na figura pode ser alterada quando o cristal é aquecido.

- Produza uma nova figura mostrando que alterações podem ocorrer na banda de valência e na banda de condução do cristal quando ele for aquecido.
- Diga se as alterações que você ilustrou no item anterior também poderiam ocorrer se o cristal fosse iluminado com luz de características adequadas.



Uma resposta satisfatória ao item (a) desta questão requer a elaboração de uma figura semelhante ao lado direito da figura 4a. Posto de forma simples, a análise a ser feita pelo estudante

deve considerar que nos materiais semicondutores a banda proibida é pequena e, portanto, a energia térmica é suficiente para transferir elétrons da banda de condução para a banda de valência. O item (b) da questão 11 requer uma análise muito semelhante àquela solicitada pelo item (a), mas nesse caso considera-se que a energia para deslocar o elétron de uma banda para outra provém da luz.

Vemos como pouco provável que algum estudante tenha decorado a figura 4a, que estava presente na seqüência, de modo a fornecer uma resposta correta para a questão 11, devido ao grande número de inscrições que a seqüência apresentava. Assim, uma resposta apropriada demandava a mobilização dos conceitos envolvidos para proceder à manipulação requisitada no item a da questão.

A figura 6, apresentada a seguir, é um exemplo de resposta satisfatória à questão 11. O estudante desenhou as bandas incluindo os elétrons e os buracos. Além disso, ele desenhou algumas setas para representar o deslocamento de elétrons entre as bandas de condução e de valência. Esse recurso que aparece reproduzido na figura elaborada pelo estudante não foi incluído nas inscrições presentes na seqüência, mas foi utilizado pelo professor em sala. As respostas fornecidas pelo estudante nos permitem dizer que ele se apropriou de forma satisfatória dos conceitos relativos ao movimento de elétrons nas bandas de energia e que mobilizou esses conceitos para elaborar as respostas.

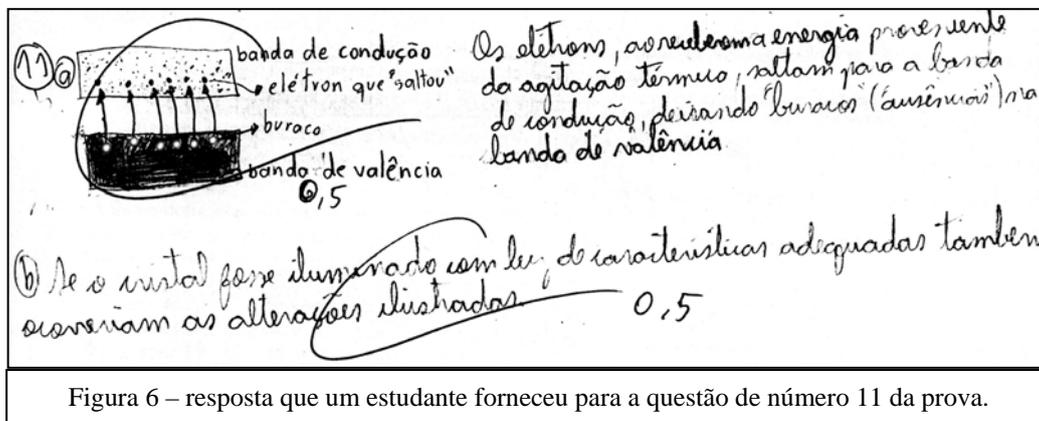


Figura 6 – resposta que um estudante forneceu para a questão de número 11 da prova.

A figura ao lado reproduz uma inscrição que outro estudante forneceu como resposta à questão 11. A produção desse estudante promove uma fusão entre os termos usados na identificação das bandas de valência e condução, do modelo de bandas, com conceitos e imagens associados ao efeito fotoelétrico, que havia sido tratado na seqüência.

Aparentemente, o estudante foi levado a resgatar imagens associadas ao efeito fotoelétrico em função do modo como ele interpretou o enunciado do item (b) no qual é solicitada uma previsão acerca das alterações ocorridas nas bandas de condução e de valência de um cristal de silício iluminado com luz de características adequadas.

Nossa avaliação acerca do desempenho dos estudantes na questão 11 e nas outras questões da prova que envolviam inscrições, nos mostra que a leitura e o uso desses recursos semióticos é bastante problemática. Assim, por exemplo, apenas três estudantes forneceram respostas corretas para a questão 11.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos principais resultados de nossa experiência com a introdução de tópicos da Física de Semicondutores no Ensino Médio foi a constatação de que a seqüência de ensino que concebemos

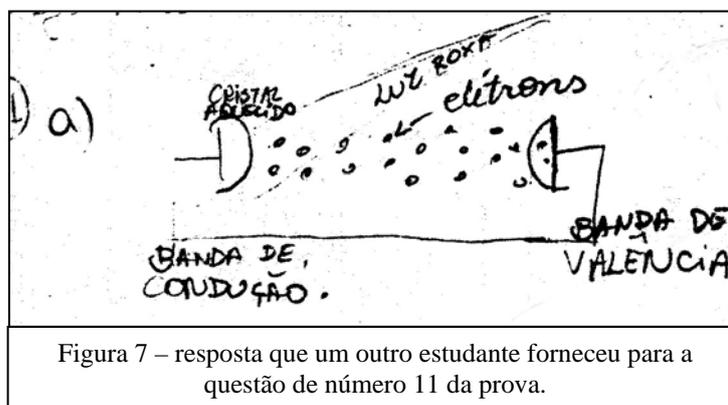


Figura 7 – resposta que um outro estudante forneceu para a questão de número 11 da prova.

com essa intenção era por demais extensa e não se adequava à realidade do ensino noturno. Nesse turno, as aulas têm menor duração efetiva e os estudantes se encontram normalmente mais cansados. Por isso, ao insistir na realização de todas as 12 atividades que compunham a seqüência, nós extrapolamos o tempo inicialmente previsto para a realização dessa experiência. Apesar disso, o saldo geral da utilização desse material de ensino com estudantes do ensino médio foi positivo. Uma das evidências que nos permitem apontar esse saldo positivo foi o engajamento dos estudantes na realização das atividades experimentais. Outra evidência foi o interesse do professor em adquirir os materiais para replicação das atividades experimentais no ano seguinte, já que os materiais usados pelo professor em 2007 haviam sido cedidos por empréstimo.

Em função dessa experiência acreditamos hoje que a concepção de seqüências de ensino mais curtas é uma estratégia mais adequada à introdução de tópicos de FMC na EB. Julgamos que, desse modo, é possível promover uma melhor articulação entre os conteúdos de física clássica, que predominam no currículo da educação básica, e os tópicos de FMC, que podem ampliar a compreensão dos estudantes sobre o mundo em que eles vivem. Assim, por exemplo, achamos pertinente reavaliar a opção largamente adotada pelo uso do modelo de Drude, ou modelo clássico da corrente elétrica. O modelo de bandas, apesar de razoavelmente mais sofisticado, é indubitavelmente mais inclusivo, pois permite o tratamento de fenômenos cotidianos que, em função das limitações do modelo clássico, seguem sendo ignorados no Ensino Médio.

O fato de que a física clássica já tenha experimentado um longo processo de transposição didática não significa que ela não seja problemática para os estudantes. A pesquisa em ensino de física realizada desde a década de 1960 tem mostrado uma série de fatores que contribuem para as dificuldades enfrentadas pelos estudantes para aprender física. Muitos desses resultados e das diretrizes didático-metodológicas que deles emergiram certamente se aplicam ao ensino aprendizagem de tópicos de FMC.

Por outro lado, não pertencemos ao grupo de educadores e pesquisadores em ensino de física que defendem a introdução da FMC na EB sob o argumento de que é necessário promover uma necessária atualização dos conteúdos da física escolar, tendo em vista que os conteúdos atualmente contemplados restringem-se à física desenvolvida até o final do século XIX. Do nosso ponto de vista, o compromisso da educação básica não é o de ensinar aquilo que é atual em cada ciência. Trata-se, isso sim, de encontrar no corpo de saberes historicamente acumulados aquilo que apresenta as maiores chances de contribuir com a formação da autonomia intelectual e afetiva dos estudantes, de modo a inseri-los em práticas sociais e culturais relevantes para a sociedade onde vivem.

Nesse aspecto em particular, a física clássica nos parece extremamente atual e relevante, e é natural que ela componha parte preponderante do currículo de física ao longo da educação básica. Além de ser atual, a física clássica exibe outras características importantes para ocupar lugar de destaque nos currículos. Quando comparada à FMC, a física clássica exibe um maior número de fenômenos macroscópicos que costumam ser percebidos pelos estudantes em seu cotidiano, sendo esse fator muito importante quando analisamos o ato de compreensão a partir do olhar da semiótica.

Nossa incursão no estudo da semiótica tem se mostrado promissor. Uma das aprendizagens importantes que obtivemos em virtude desse investimento consiste na ampliação dos critérios que utilizamos na concepção de inscrições didáticas. A transformação da figura 4a na figura 4b é um exemplo dessa aprendizagem. Ao reavaliar o conjunto das inscrições didáticas que produzimos e inserimos na seqüência de ensino constatamos a existência de signos distintos que tinham como referentes os mesmos objetos dos mundos vivido e concebido. Embora algumas dessas variações estivessem relacionadas com a intenção de caracterizar diversos aspectos de um mesmo objeto-referente, como é o caso do elétron, e pudessem ser justificadas como ferramentas auxiliares na sofisticação do conhecimento dos estudantes sobre tais objetos, como é o caso da atribuição da dualidade onda-partícula ao elétron, a proliferação de signos para um mesmo referente constitui um obstáculo em potencial para a interpretação das inscrições didáticas.

Embora sejam recursos amplamente empregados nas aulas de ciências, a leitura e a interpretação de inscrições didáticas são atos de significação bastante complexos, como procuramos

exemplificar com a questão da prova que solicitava aos estudantes a manipulação de uma inscrição. Por meio do modelo semiótico apresentado neste artigo procuramos evidenciar os diversos processos necessários para uma interpretação apropriada de uma inscrição. O conhecimento de tais processos pode auxiliar bastante o professor, pois permite a antecipação das demandas enfrentadas pelos estudantes na interpretação de uma inscrição didática, o que leva à produção de mediações mais apropriadas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakhtin, M. *Marxismo e filosofia da linguagem*. São Paulo, Editora Hucitec, 1999.
- Barab, S. A. et al. *Relating Narrative, Inquiry, and Inscriptions: Supporting Consequential Play*. *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 16, No. 1, 2007.
- Bowen, G. M. e Roth, Wolff-Michael. *Data and Graph Interpretation Practices among Preservice Science Teachers*. *Journal of Research in Science Teaching* Vol. 42, No. 10, pp. 1063–1088, 2005.
- Carmona, A. G. *Construcción de significados de física de semiconductores en educación secundaria: Fundamentos y resultados de una investigación*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, p. 507-519, 2006a.
- Carmona, A. G. *Influencia de la temperatura en el comportamiento eléctrico de los materiales: análisis de su compresión y dificultades de aprendizaje*. In: *Revista Investigações em Ensino de Ciências*. v. 11, pp. 67-83, 2006b
- D'amore, B. *Epistemologia e Didática da Matemática*. Tradução de Maria Cristina Bonomi Baruli. São Paulo, Escrituras Editora, 2005.
- Eco, H. *Tratado Geral de Semiótica*. Editora Perspectiva, São Paulo, 1980.
- Latour, B. – *Ciência em Ação* – São Paulo, Editora Unesp, 2000.
- Latour, B.; Woolgar, S. – *A vida de Laboratório: A produção dos Fatos Científicos*. Dumará Distribuidora de Publicações Ltda, Rio de Janeiro, R.J.; 1997.
- Lemke, J. *Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text*. In J.R. Martin & R. Vell (Eds.), *Reading science: Critical and functional perspectives on discourses of science* (pp. 87–113). New York: Routledge, 1998.
- Mortimer, E. F; Massicame, T.; Tiberghien, A; Buty C. *Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de Ciências*, In: *A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns recortes*. Roberto Nardi (Org.). São Paulo: Escrituras Editora, 2007.
- Ostermam, F. e Moreira, M. A. *Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio*. In: *Investigações em Ensino de Ciências*, Vol. 5, nº 1, Março de 2000.
- Paula, H. F. *A ciência escolar como instrumento para a compreensão da atividade científica*. Tese de Doutorado, FAE/UFMG, 2004.
- Peirce, C. S. *Semiótica e filosofia*. São Paulo, Cultrix, Editora da Universidade de São Paulo, 1975.
- Roth, W.-M., and McGinn, M. K. *Inscriptions: A social practice approach to representations*. *Review of Educational Research*, 1998, 68: 35–59.
- Roth, W. M.; Ardenghi, L. P. and Han, J. Y. *Critical Graphicacy: Understanding Visual Representation*. Published by Springer, Netherlands, 2005.
- Vygotsky, L.S. - *A Formação Social da Mente*, Trad. José Cipolla Neto. São Paulo, Martins Fontes, 4a ed. (original parcialmente publicado em 1960 na URSS); 1991.
- Vygotsky, L.S. - *Pensamento e Linguagem*, Trad. Jefferson Luiz Camargo. São Paulo, Martins Fontes, 2a tiragem da 2a ed. (original publicado em 1934); 1999.
- Wu, Hsin-Kai e Krajcik, J. S. *Inscriptional Practices in Two Inquiry-Based Classrooms: A Case Study of Seventh Graders' Use of Data Tables and Graphs*. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 43, No. 1, pp. 63–95, 2006.