

O CONCEITO DE CAMPO: POLISSEMIA NOS MANUAIS, SIGNIFICADOS NA FÍSICA DO PASSADO E DA ATUALIDADE

Sonia Krapas e Marcos Corrêa da Silva

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo evidenciar o caráter polissêmico do conceito de campo em livros didáticos; mostrar que a polissemia desse conceito tem raízes nos significados atribuídos tanto no passado como na atualidade; discutir as limitações de se introduzir a história da ciência e elementos da física contemporânea no ensino de física. Foram analisados três manuais do ensino médio, sendo que alguns livros do ensino superior e antigos manuais foram usados como contraponto. Da análise destacamos atribuições de significado para o termo campo: definições explícitas; campo armazena energia; campo é alteração do espaço; campo interage com partículas e media a interação entre partículas. Coloca-se em discussão as demandas de se introduzir a história da ciência e a física contemporânea no ensino introdutório de física frente a perspectiva da transposição didática de Chevallard.

Palavras-chave: campo, polissemia, livros didáticos, história da ciência, transposição didática.

ABSTRACT

This paper aims at evidencing the polissemic character of the concept of field within didactic books; it also shows that the roots of such a variety in meaning is found in both past and actual days; it discusses the limitations of teaching History of Science and elements of contemporary Physics in the teaching of Physics. Three secondary education manuals were analyzed, with higher education and old books used as bases for comparison. From the analysis, some attributes of meaning could be highlighted: explicit definitions; field stores energy; field is a space alteration; field interacts with particles and it mediates their interaction. This paper puts into discussion the need of introducing History of Science and contemporary Physics into the Physics introductory teaching faced with the perspective of Chevallard' didactic transposition.

Keywords: field, polissemity, didactic books, history of science, didactic transposition.

Em nossa experiência como professores de física pudemos constatar que muitos fenômenos são explicados usando-se o conceito de campo. Assim, os corpos caem por causa do campo gravitacional da Terra, pregos são atraídos por um ímã por causa do seu campo magnético. Há uma “naturalização” do conceito. Ainda que essas explicações não estejam incorretas, elas podem estar indicando um modo descompromissado de se apropriar do conceito. Isso fica evidenciado pelo uso do mesmo tipo de explicação para fenômenos mais complicados, como o funcionamento de um motor elétrico simples ou o comportamento de um material ferromagnético dentro de um solenóide. Parece que o termo campo encerra – encerrar tanto no

seu sentido de guardar em lugar que se fecha, como no sentido de terminar – a explicação. Podemos dizer que o conceito de campo encontra-se encapsulado.

Por que esse conceito tão atraente é, ao mesmo tempo, tão mal compreendido pelos estudantes (Furió e Guisasola 2001, Furió e Guisasola 1997, Galili, 1995; Domínguez e Moreira 1988)? Uma das razões pode estar no caráter polissêmico com que esse conceito é utilizado, caráter que pode ser creditado a suas origens na história da ciência e à introdução da física contemporânea no ensino de física.

Neste trabalho temos como objetivos evidenciar o caráter polissêmico do conceito de campo em livros didáticos; mostrar que a polissemia desse conceito tem raízes nos significados atribuídos tanto no passado como na atualidade; discutir as limitações de se introduzir a história da ciência e elementos da física contemporânea no ensino de física.

DESENVOLVIMENTO DO TEMA

Em trabalho anterior analisamos em detalhe três livros do ensino médio com o objetivo de identificar aspectos relacionados à controvérsia histórica *ação à distância versus ação mediada*. Na escolha dos livros adotou-se alguns critérios: padrão de qualidade, acessibilidade no território nacional e adoção no estado do Rio de Janeiro¹. Os livros são: *Física* de Alberto Gaspar, *Física* de Luiz Alberto Guimarães e Marcelo Fonte Boa e *Curso de Física* de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga. Os três livros estão publicados em três volumes, sendo que o primeiro deles tem sua primeira edição em 2000, o segundo em 1991/94, e o terceiro em 1979, estando no momento na sexta impressão da quinta edição.

No presente trabalho procedemos uma análise dos significados do termo campo, análise que foi feita através de definições explícitas e de expressões utilizadas pelos autores. Como contraponto aos livros do ensino médio, são feitas algumas referências a livros introdutórios de física a nível universitário: *Física* de Tipler, *Curso de Física Básica* de Nussenzveig, *Fundamentos de Física* de Halliday e Resnick e *Física* de Chaves. Citações a manuais antigos também aparecem.

Do ponto de vista da história da ciência, cabe uma ressalva. Nersessian (1984) adota o conceito de campo no seu sentido amplo: “o conceito de campo envolve a noção de que algum processo físico que toma lugar na região que envolve os corpos em questão” (Nersessian, 1984, pg. 34). Por isso ela inclui no seu estudo Faraday, que não chegou a usar esse termo. Diferentemente, como estamos interessados nos significados atribuídos ao termo campo, nossa busca na história foi feita principalmente a partir de Maxwell, pioneiro no uso desse termo.

Da análise destacamos atribuições de significado para o termo campo, que são detalhadas a seguir: definições explícitas; campo armazena energia; campo é alteração do espaço; campo interage com partículas e media a interação entre partículas.

¹ Esse trabalho faz parte de um estudo mais amplo que envolve a formação inicial e continuada de professores de Física dessa região.

Definições explícitas

Tal como manuais antigos (Poynting e Thomson, 1911; Crowther, 1921), que fazem uma distinção entre *campo* e *intensidade de campo*, Gaspar faz distinção entre *campo* e *vetor campo*, explicando:

[...] o campo de temperaturas de uma sala é caracterizado pela grandeza temperatura, o campo de velocidades da corrente de um rio é caracterizado pela grandeza velocidade. Ninguém confunde campo de temperaturas com a grandeza temperatura, nem campo de velocidades com a grandeza velocidade. A diferença entre as duas coisas é óbvia. Mas com o campo elétrico essa confusão é freqüente, pois o campo elétrico costuma ser caracterizado pela grandeza campo elétrico. Para evitar essa confusão, vamos adotar neste livro uma diferenciação clara entre essas duas idéias. Chamaremos sempre de campo elétrico a região em que as partículas eletricamente carregadas sofrem a ação de força ou adquirem energia devido à sua carga elétrica, e vetor campo elétrico E a grandeza que permite determinar, em cada ponto, a intensidade da força que atua sobre a carga aí colocada. (Gaspar, 2000b, pg. 34)

Campo é espaço e *vetor campo* é definido algebricamente como uma grandeza aparentada da força. De qualquer forma, é fácil entender a confusão apontada por Gaspar: uma coisa é associar um campo a grandezas como velocidade e temperatura; a outra é associar um campo a uma grandeza denominada campo. Vale notar que essa ambigüidade não existia na formulação de Maxwell.

O termo campo já aparece nos seus primeiros trabalhos sobre eletromagnetismo, na forma de expressões do tipo “condutor fechado num campo magnético” (Maxwell, 1952a, pg. 187) e “um ímã é colocado naquela parte do campo” (Maxwell, 1952b, pg. 452), expressões cujo significado é espaço. No terceiro artigo sobre eletromagnetismo, em cujo título consta o termo campo, ele é explícito: “O campo eletromagnético é aquela parte do espaço² que contém e envolve corpos em condições elétricas ou magnéticas” (Maxwell, 1952c, pg. 527).

Herdada de Faraday, a posição de Maxwell era de não ação à distância (Nersessian, 1984; Cushing 1998; Berkson, 1981; Abrantes, 1998; Gardelli 2004), posição que justifica a ênfase no termo campo, usado para explicitar a importância do espaço entre os corpos em interação. Em seu *Tratado*, Maxwell mantém a definição: “O Campo Elétrico é a porção do espaço na vizinhança dos corpos eletrificados, considerado com referência aos fenômenos elétricos” (Maxwell, 1954, pg. 47), mas introduz a grandeza *Intensidade Resultante Eletromotriz* do mesmo modo como hoje definimos campo:

Se um corpo eletrificado é colocado em qualquer parte do campo elétrico ele irá, em geral, produzir um sensível distúrbio na eletrificação dos outros corpos.

Mas se o corpo é muito pequeno, e sua carga também muito pequena, a eletrificação dos outros corpos não será sensivelmente perturbada, e nós

² Grifo nosso.

podemos considerar a posição do corpo como determinada por seu centro de massa. A força agindo no corpo será então proporcional à sua carga, e será invertida quando a carga é invertida.

Seja 'e' a carga do corpo, e 'F' a força agindo no corpo numa certa direção, então quando 'e' é muito pequeno 'F' é proporcional a 'e', ou:

$$F = Re,$$

Onde 'R' depende da distribuição de eletricidade nos outros corpos do campo. [...] Nós podemos chamar 'R' a Intensidade Resultante Eletromotriz num dado ponto do campo. (Maxwell, 1954, pg. 48)

Vale notar ainda que a expressão “campo magnético de Intensidade variável” usada em seu primeiro artigo poderia nos remeter à definição clássica do vetor campo B, porém, a grandeza Intensidade *I*, com características vetoriais, refere-se à força que atua no campo (região), como se torna claro no exemplo VI em que se define a intensidade *I*:

Seja I a não perturbada intensidade magnética do campo dentro do qual a esfera é introduzida, e sejam suas direções cossenos l, m, n. [...] O efeito da força original I girando a esfera sobre o eixo x... (Maxwell, 1952a, pg. 218)

Ainda sobre os manuais, pode-se dizer que em geral não há a distinção acima apontada por Gaspar. É o caso da definição não algébrica de campo, que remonta aos velhos manuais (Attwood, 1941; Harnwell, 1938): “... se numa região do espaço um corpo sofre a ação de força, nessa região existe um campo cuja natureza depende da causa que origina a força ou interação” (Gaspar, 2000a, pg. 269). Em Guimarães e Fonte Boa (2001), Máximo e Alvarenga (2002) e Nussenzveig (1992) também encontramos a mesma definição. Frequentemente são usadas expressões que não consideram a dita distinção: “campo gravitacional em torno da Terra” (Guimarães e Fonte Boa, 2001, pg.117); “Um campo de forças pode ter origem gravitacional, elétrica ou magnética (Guimarães e Fonte Boa, 2001, pg.117); “a carga de prova é suposta bastante pequena para não alterar significativamente o campo que ela deve testar.” (Gaspar, 2000b, pg. 35).

Sem a distinção referida acima, muitos autores, como se verá a seguir, usam expressões que dão a impressão de que o sentido de campo seria espaço.

Campo armazena energia

Em livros de nível universitário a expressão “energia armazenada no campo” (Halliday e Resnick, pg. 99) pode causar uma certa confusão na mente do neófito. Como pode uma grandeza como energia estar armazenada numa outra grandeza que é aparentada com a força?

Para Maxwell o campo é espaço, portanto a energia localiza-se no campo:

A única questão é: onde ela [a energia nos fenômenos eletromagnéticos] reside? Nas velhas teorias ela reside nos corpos elétricos, circuitos condutores, e imãs, na forma de uma quantidade desconhecida chamada energia potencial, ou poder de produzir certos efeitos a uma distância. Em nossa teoria ela reside no campo eletromagnético, no espaço que

*rodeia os corpos elétricos e magnéticos, tanto quanto nesses próprios corpos...*³ (Maxwell, 1952c, pg. 564)

Essa questão, crucial para Maxwell, é também abordada por Chaves que argumenta:

É natural se questionar onde está localizada a energia potencial elétrica de uma carga ou de um sistema de cargas. O conceito de energia potencial [...] parece abstrato. Toma-se uma força, faz-se a sua integração em uma trajetória qualquer entre dois pontos para se calcular um trabalho e diz-se que tal trabalho fica armazenado na forma de energia potencial. Tudo isso soa como mera matemática. Pergunta-se: onde fica armazenada a energia potencial? (Chaves, 2001, pg. 23)

A impressão que se tem é que, tal como em Maxwell, o significado atribuído ao termo campo é *espaço*⁴:

*A evidência experimental acumulada mostra, sem margem para dúvidas, que a energia potencial elétrica se situa no campo elétrico*⁵. Aliás, no caso mais geral, nos campos elétrico e magnético. A radiação eletromagnética demonstra isso. Basta você considerar a energia que vem através da luz solar ou o processo pelo qual um forno de microondas aquece um copo de água para se convencer de que a *energia eletromagnética é algo que pode se situar no espaço*⁶ e se propagar através dele. (Chaves, 2001, pg. 23-24)

Mas, para o aprendiz, surge outra dúvida: se campo é espaço, como pode a energia estar armazenada no espaço, espaço este desprovido de matéria? Energia não é algo que se associa a uma onda ou a uma partícula?

Para Maxwell essa não era uma questão, uma vez que, partidário da ação contígua – em oposição à ação à distância – o espaço era preenchido pelo éter.

Talvez por entender que a emissão de ondas eletromagnéticas ocorre somente quando as partículas estão numa situação dinâmica, outros autores são menos positivos em suas afirmações: “podemos pensar na energia como estando *armazenada no campo*” (Nussenzveig, 1997, pg. 81); “É conveniente imaginar que a energia está armazenada no campo elétrico” (Tipler, 1984, pg. 671); “A energia potencial de um capacitor carregado pode ser vista como se estivesse armazenada no campo elétrico entre as placas” Halliday e Resnick (1991, pg. 81).

Campo se propaga

Uma expressão que fica desprovida de sentido, seja considerando-se campo como espaço seja como vetor campo, é: “o campo elétrico, assim como a luz, se propaga no vácuo” (Gaspar,

³ Grifo nosso.

⁴ Na verdade, o significado, que será detalhado mais adiante, é outro.

⁵ Grifo nosso.

⁶ Grifo nosso.

2000b, pg. 36), expressão que diz respeito à não simultaneidade dos eventos imposta pela relatividade restrita. Para o neófito, entidades físicas que têm a propriedade de se propagar são onda e partícula, e campo não é uma coisa nem outra. Termos menos conflituosos são utilizados por Tipler (1984, pg. 604): “propagação da modificação do campo”.

Campo é alteração do espaço

Referências à relatividade geral podem dificultar ainda mais a compreensão do conceito:

... o campo já existia antes de você chegar lá, ou passou a existir quando você, utilizando os corpos de prova, começou a pesquisá-lo? Para a Física atual, a resposta é: ele já existia antes de você colocar o corpo de prova. [...] O campo é entendido, na Física, como uma propriedade do espaço: a presença da Terra altera o espaço, e essa alteração é o campo⁷... (Guimarães e Fonte Boa, 2001, pg. 117-118)

Campo interage com partículas e media a interação entre partículas

Outra fonte de incompreensão pode advir de expressões do tipo “força exercida pelo campo” (Tipler 1984, pg. 604), “O campo magnético terrestre [...] interage com o vento solar – partículas carregadas oriundas do Sol⁸” (Gaspar, 2000b, pg. 181), expressões que também encontramos em antigos manuais: “uma carga [...] experimentaria uma força mecânica devida ao campo” (Crowther, 1921, pg. 415). Ficam as questões: Como pode um campo, uma grandeza aparentada da força, agir sobre uma partícula? Ondas ou partículas é que podem interagir com outra partícula.

Expressões desse tipo advêm do entendimento de que campo é um agente intermediário nas interações. Gaspar (2000b, pg. 198) e Máximo e Alvarenga (2002, pg. 55) usam campo com esse sentido; Guimarães e Fonte Boa (2001) são explícitos:

O conceito de campo está intimamente relacionado a uma mudança radical no modo de encarar as interações entre os corpos. Elas não são mais vistas como uma ação à distância, direta e instantânea, entre duas massas, dois ímãs ou duas cargas elétricas: há um ‘agente intermediário’ nas interações, e esse agente é o campo⁹. (Guimarães e Fonte Boa, 2001, pg. 118)

A intenção pretendida é introduzir no reduto didático uma controvérsia situada historicamente – ação contígua versus ação à distância. E esse é o mote para apresentar o conceito de campo com seu caráter atual, forma encontrada nos livros de Mecânica Analítica.

⁷ Grifo nosso.

⁸ Vale notar a diferença entre a exposição de Gaspar e a de Guimarães e Fonte Boa (2001, pg. 171), menos problemática para o aprendiz: “o campo magnético da Terra também é modificado pelo vento solar, formado por partículas carregadas que são permanentemente expelidas pelo sol. Essas cargas em movimento geram um campo magnético que, superpondo-se ao campo intrínseco da Terra, faz com que o campo resultante seja diferente daquele produzido por um dipolo magnético”.

⁹ Grifo nosso.

Pode-se perguntar em que medida essa pretensão é alcançada, dados os meandros da história até chegar ao estado atual da física.

A controvérsia referida acima nasce quando Newton introduz a ação à distância; é recrudescida com as críticas de Faraday a essa idéia; e prossegue com Maxwell que, diferentemente de Faraday que tinha dúvidas sobre a existência do éter¹⁰, explora a vertente da ação contígua, preenchendo o espaço com éter. O éter, matéria imponderável, passa a ser o mediador nas interações.

Com os argumentos teóricos e experimentais a favor da unificação da óptica com o eletromagnetismo, o éter ganha novo significado. Ainda na condição de mediador da interação, ele é entendido como suporte para a propagação da onda eletromagnética. Desta forma, ele adquire outra ontologia: é o referencial a partir do qual é medida a velocidade de propagação da onda. É com relação a esse sentido que Einstein, no seu famoso artigo de 1905, ao tecer argumentos contra o espaço absoluto, se opõe: “A introdução de um ‘éter luminífero’ revelar-se-á supérflua...” (Einstein, 1971, pg. 48). Essa idéia, entretanto, não convence imediatamente a todos, principalmente a Lorentz, cuja formulação, concorrente com a de Einstein, comportava um éter estacionário. É interessante observar que o próprio Einstein, depois de formular a teoria da relatividade geral, volta a defender o éter em 1920, mas com o significado de suporte de propagação da onda eletromagnética:

De acordo com a teoria da relatividade geral espaço sem éter é impensável; pois em tal espaço não só não existiria a propagação da luz, mas também nenhuma possibilidade de existência de padrões de espaço e tempo [...] (Einstein, 1920).

A retirada do éter cria outro problema: sem o éter, mediador da ação entre as partículas, como é possível dar conta das interações em situações dinâmicas? Este é problema levantado e enfrentado pela relatividade especial, como mostram livros de Mecânica Analítica:

*É evidente que a ação à distância nos moldes estritamente newtonianos é incompatível com a teoria especial da relatividade, porque envolve a propagação instantânea, isto é, com velocidade infinita, da interação entre as partículas. Para contornar essa dificuldade, poder-se-ia conceber uma ação à distância retardada, de tal modo que qualquer modificação no estado de uma partícula somente seria sentida por outra depois de transcorrido um tempo igual ao necessário para a luz cruzar a distância entre elas. Nesse caso a modificação do momento linear de uma partícula não se refletiria na mudança imediata do momento linear das outras, mas teria que haver um momento linear em trânsito de uma partícula para as outras a fim de assegurar a conservação do momento linear total. Isso indica que, ... numa teoria relativística, **as interações entre partículas têm que ser mediadas por campos locais dotados de propriedades mecânicas, tais como energia e momento linear**¹¹. (Lemos, 2004, pg. 205)*

¹⁰ De acordo com Nersessian (1984, pg. 65), “Maxwell sempre escolhe aquelas citações que fazem Faraday aparecer como se ele acreditasse no éter”.

¹¹ Grifo nosso.

Mais adiante o autor continua:

*Esse “teorema da ausência de interação” [...] estabelece de forma inequívoca que a implementação da lei de conservação da energia e do momento linear de um sistema de partículas em interação requer a introdução de **outra entidade portadora de energia e momento, a saber, o campo mediador da interação***¹². A interação entre duas partículas afastadas deve ser interpretada como uma ação por contato de uma partícula sobre o campo, seguida de propagação do campo e, finalmente, ação por contato do campo sobre a outra partícula. (Lemos, 2004, pg. 207)

Com a nova ontologia – campo como mediador da interação entre partículas –, pode-se atribuir ao campo ações típicas de ondas e partículas, ações que causam tanto estranheza no reduto da física clássica: propagar-se, interagir com partículas, armazenar energia e momento. O conceito de campo, que sofre um processo de desmecanização em Maxwell (Abrantes, 1989), adquire no tempos atuais propriedade mecânicas.

CONCLUSÕES

O termo campo já foi incorporado à linguagem de senso comum. Nardi (1991) utiliza, para investigar a psicogênese do conceito de campo, trechos de desenhos animados nos quais aparece esse termo. Na maioria das vezes o sentido é equivocado, de barreira de proteção, por exemplo. Guimarães e Fonte Boa (2001) apontam essa imprecisão do termo:

De vez em quando, nos desenhos animados ou quadrinhos de ficção científica, vemos um personagem acionar ‘um campo de forças’. Esse campo, em geral, se manifesta como uma ‘barreira protetora’, um ‘escudo invisível e invulnerável’, que impede, por exemplo, que a nave dele seja atingida pelos disparos das armas do inimigo. (Guimarães e Fonte Boa, 2001, pg. 117)

Os manuais, no entanto, não tem contribuído para tornar o termo mais preciso. A liberdade com que o utilizam é assimilada – implicitamente, é claro – pelos alunos que chegam a usar expressões tal como *interação entre campos* para explicar fenômenos eletromagnéticos simples, como um motor elétrico. A idéia de que campos podem interagir pode estar sendo reforçada por expressões tais como a utilizada por Gaspar: “a Terra e a Lua, que interagem através de seus campos” (Gaspar, 2000b, pg. 198). Na verdade, o autor está se referindo à “ação e reação intermediada por um campo” (Gaspar, 2000b, pg. 198)¹³.

¹² Grifo nosso.

¹³ Vale acrescentar que essa expressão adquire sentido na física relativística: “ nós levamos em conta a possibilidade que o sistema consiste de dois ou mais campos que interagem. A completa densidade Lagrangiana consiste da soma das densidades Lagrangianas representando os campos livres mais termos que descrevem as interações entre campos” (Goldstein, 1980, pg. 575).

A partir da análise que realizamos, poderíamos relacionar as fontes da polissemia encontrada nos manuais com a ausência da história da ciência no ensino – ou com sua inadequada apropriação – e com a introdução de questões da física contemporânea no ensino.

No que diz respeito à história, a distinção entre *campo* e *vetor campo* destacada por Gaspar, que remonta aos velhos manuais com *campo* e *intensidade de campo* e que tem sua origem em Maxwell com *campo* e *Intensidade Resultante Eletromotriz*, deveria estar sendo não somente explicitada, mas mantida ao longo do texto dos manuais¹⁴. A idéia de que campo armazena energia deveria estar sendo apresentada de forma contextualizada no que se refere a suas origens em Maxwell, à controvérsia ação mediada versus ação à distância e à Relatividade Especial. De maneira correlata, a idéia de que campo interage com partículas e media a interação entre elas, também deveria explicitamente fazer referência à referida controvérsia e à Relatividade Especial.

Sabemos, no entanto, que a história do conceito de campo é errática: nasce da controvérsia ação contígua versus ação à distância; é sustentado pela introdução do éter como meio que suporta a propagação da ação; sobrevive à derrocada do éter; adquire novos significados na física contemporânea. Assim posto, entendemos que é tarefa delicada trazer para o reduto didático questões historicamente localizadas como a da citada controvérsia – tarefa preconizada por Furió e Guisasola (1997). Além disso, ao enfatizar a história da ciência poderíamos correr o risco de transformar disciplinas introdutórias de física em estudos sobre a evolução dos conceitos da física.

Por outro lado, numa vertente de pensamento que difere daqueles que defendem a introdução da história da ciência no ensino (Bevilacqua, Giannetto e Matthews 2001; Matthews 1995, Martins 1990) encontra-se Chevallard. Ao apontar para a especificidade do saber produzido na instituição escola, o autor nega essa possibilidade dado o caráter inevitável da transposição didática¹⁵:

O saber que a transposição didática produz será portanto exilado de suas origens e separado de sua produção histórica na esfera do saber sábio, legitimando-se, enquanto saber ensinado, como algo que não é de nenhum tempo nem de nenhum lugar, e não legitimando-se mediante recurso da autoridade de um produtor, qualquer que ele seja. (Chevallard, 1998, pg. 18)

E as razões pelas quais o saber ensinado se distingue do saber sábio são de ordem funcional¹⁶:

¹⁴ Gaspar não mantém a distinção ao longo do texto.

¹⁵ Paradoxalmente, as demandas da noosfera sobre o sistema de ensino – na figura dos PCN, por exemplo –, vão no sentido de introduzir a história da ciência no ensino de ciências.

¹⁶ Embora diferentes, os argumentos de Kuhn para se opor à introdução da história da ciência no ensino são também de ordem funcional: “Grande parte da imagem que cientistas e leigos têm da atividade científica criadora provém de uma fonte autoritária que disfarça sistematicamente – em parte devido a razões funcionais importantes – a existência e o significado das revoluções científicas” (Kuhn, 1982, pg. 174).

*Porque o funcionamento **didático** do saber é distinto do funcionamento acadêmico, porque há dois regimes do saber, interrelacionados mas não superpostos. (Chevallard, 1998, pg. 25)*

*Seu funcionamento [do sistema didático] ... supõe que a “matéria” (professor, alunos e saber) que virá a ocupar cada um dos lugares, satisfaça certos **requisitos didáticos** específicos. Para que o ensino de um determinado elemento de saber seja meramente **possível**, esse elemento deverá sofrer certas deformações, que o tornem apto para ser ensinado. O saber-tal-como-é-ensinado, o saber ensinado, é **necessariamente**¹⁷ distinto do saber-inicialmente-designado-como-o-saber-que-deve-ser-ensinado, o saber a ensinar. Este é o terrível segredo que o conceito de transposição didática põe em perigo. (Chevallard, 1998, pg. 17-18)*

A situação em que se encontra o ensino do conceito de campo parece bem descrita pelo funcionamento do sistema didático segundo Chevallard. Requisitos didáticos historicamente situados – que vale a pena ser investigados – transformaram o saber sábio de forma que é possível apenas identificar nos manuais alguns resquícios do passado: o saber transformado fica necessariamente “exilado de suas origens e separado de sua produção histórica na esfera do saber sábio”. Com este trabalho pretendemos apontar para o fato de que, no que diz respeito ao conceito de campo, o saber ensinado, por seu caráter polissêmico, pode acarretar sérios problemas de aprendizagem. Nesse sentido é possível se cogitar a não introdução desse conceito no nível do ensino médio, argumentando tal como o faz Assis (1999) a favor da perspectiva da ação à distância.

Ainda vale destacar o alerta de Chevallard, no que diz respeito às transformações/deformações pelas quais passam o saber sábio:

*... o saber ensinado – o saber tratado no interior do sistema [de ensino] – deve ser visto, pelos mesmos “acadêmicos”, **como suficientemente próximo do saber sábio** a fim de não provocar a desautorização dos matemáticos [acadêmicos em pauta], o que minaria a legitimidade do projeto social, socialmente aceito e sustentado, de seu ensino. (Chevallard, 1998, pg. 30)*

Assim, respondendo a uma demanda dos PCN, os manuais principiam a introduzir a física contemporânea desde os cursos introdutórios. A impressão que se tem é que, no caso do conceito de campo, os manuais confundem mais que instruem. Hipóteses de trabalho contextualizadas são encontradas sob forma afirmativa e estabelecida: o campo é alteração do espaço, é agente intermediário nas interações. Há o que no linguajar de Rumelhard (apud Astolfi e Develay, 2002) denomina-se processo de dogmatização.

¹⁷ Grifo nosso.

Como contraste, é interessante notar a forma como a idéia de *fluxo do campo* no caso da lei de Gauss é introduzida. Geralmente os autores (Nussenzveig, 1997; Halliday e Resnick, 1991; Chaves, 2001) usam da analogia como forma de argumentação:

A palavra “fluxo” vem da palavra latina “fluere” e é bem apropriada ao nosso modelo de correnteza que “flui”. Entretanto, será mais útil aos nossos propósitos não considerar a água – que na verdade é o elemento que flui – e sim o conjunto de vetores velocidade, um para cada ponto na correnteza, que descreve a corrente que flui. Desse ponto de vista, podemos considerar a velocidade da correnteza como um campo vetorial e, então dizer que a Eq. 3 [$\Phi = A v \cos \theta$] nos dá o valor do fluxo do campo velocidade que passa através da superfície da espira. O conceito de fluxo pode ser aplicado a qualquer campo vetorial, inclusive ao campo elétrico... (Halliday e Resnick, 1991, pg. 35).

Neste caso, a analogia tira o caráter de realidade do fluir do campo. *É como se* o campo fluísse. Há “licença científica”, da mesma forma que existe a licença poética.

As considerações feitas até aqui apenas abrem a discussão sobre a forma como vem sendo apresentando o conceito de campo em cursos introdutórios de física, discussão que se constitui em subsídio para planejar e implementar inovações didáticas, objetos de próximos trabalhos.

REFERÊNCIAS

- Abrantes, P. *Imagens de Natureza, Imagens de Ciência*. Campinas: Papirus, 1998.
- Assis, A. K. T. Arguments in favour of action at a distance. In: A. E. Chubykalo, V. Pope e R. Smirnov-Ruenda. Commack: Nova Science Publishers, 1999.
- Astolfi, J.P. e Develay, M. *A didática das ciências*. Campinas: Papirus, 2002.
- Attwood, S. S. *Electric and Magnetic Fields*. London: Chapman & Hall, 1941.
- Berkson, W. *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid: Alianza Editorial, 1981.
- Bevilacqua, F. Giannetto, E. e Matthews, M. R. *Science education and culture: the contribution of history and philosophy of science*. Dordrecht: Kluwer, 2001.
- Chaves, A. *Física. Eletromagnetismo*. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2001.
- Chevallard, Y. *La transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique, 1998.
- Crowther, J.A. *A Manual of Physics*. London: Henry Frowde and Hodder & Stoughton, 1921.
- Cushing, J. T. *Philosophical Concepts in Physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- Domínguez, M. e Moreira, M. A. Significados atribuídos aos conceitos de campo elétrico e potencial elétrico por estudantes de física geral. *Revista de Ensino de Física*, 10, 67-82, dez, 1988.
- Einstein, A. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento. In: Lorentz, H.; Einstein, A.; Minkowski, H.; Sommerfeld, A.; Weyl, H. *O Princípio da Relatividade*. Coimbra: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971.
- Einstein, A. *Ether and the Theory of Relativity*. Conferência proferida em 5 de maio de 1920, na Universidade de Leyden. Disponível em: <<http://www.cfpf.org.uk/articles/scientists/einstein.html>>. Acesso em 10 de janeiro de 2005.

- Furió, C. e Guisasola, J. Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 15, nº 2, 1997.
- Furió, C. e Guisasola, J. La enseñanza del concepto de *campo elétrico* basada em um modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las Ciencias*, vol.19, nº2, 319-334, 2001.
- Galili, I. Mechanics background influences student' conceptions in eletromagnetism. *International Journal of Science Education*, vol. 17, nº 3, 1995.
- Gaspar, A. *Física 1: Mecânica*. São Paulo: Editora Ática, 2000a.
- Gaspar, A. *Física 3: Eletromagnetismo e Física Moderna*. São Paulo: Editora Ática, 2000b.
- Gardelli, D. *Concepções de interação física: subsídios para uma abordagem histórica do assunto*. Dissertação de mestrado, USP, 2004.
- Goldstein, H. *Classical Mechanics*. Reading: Addison-Wesley Publishing Company, 1980.
- Guimarães, L. A. e Fonte Boa, M. *Eletricidade e Ondas*. Niterói: Futura, 2001.
- Halliday, D. e Resnick, R. *Fundamentos de Física. Eletromagnetismo*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.
- Harnwell, G. P. *Principles of Electricity and Electromagnetism*. New York: McGraw-Hill, 1938.
- Kuhn, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva, 1982.
- Lemos, N. A. *Mecânica Analítica*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.
- Martins, R. A. Sobre o papel da História da Ciência no ensino. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, nº 9, 1990.
- Matthews, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol.12, n. 3,164-214, dez. 1995.
- Máximo, A. e Alvarenga, B. *Curso de Física Volume 3*. São Paulo: Editora Scipione, 2002.
- Maxwell. J. C. On Faraday's lines of force *In: Niven, W. D. The Scientific Papers of James Clerk Maxwell. Vol 1*. New York: Dover, 1952a.
- Maxwell. J. C. On physical lines of force. *In: Niven, W. D. The Scientific Papers of James Clerk Maxwell. Vol 1*. New York: Dover, 1952b.
- Maxwell. J. C. A dynamical theory of electromagnetic field. *In: Niven, W. D. The Scientific Papers of James Clerk Maxwell. Vol 1*. New York: Dover, 1952c.
- Maxwell. J. C. *A Treatise on electricity and magnetism. Vol. 1*. New York: Dover, 1954.
- Nardi, Roberto. *Campo de força: subsídios históricos e psicogenéticos para a construção do ensino desse conceito. Textos de Pesquisa Nº 5*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1991.
- Nersessian, N. J. *Faraday to Einstein: constructing meaning in scientific theories*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1984.
- Nussenzveig, H. M. *Curso de Física Básica. Mecânica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.
- Nussenzveig, H. M. *Curso de Física Básica. Eletromagnetismo*. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.
- Poynting, J.H. e Thomson, J.J. *Eletricity and Magnetism. Parte I e II. Stactic Electricity and Magnetism*. London: Charles Griffin, 1911.
- Tipler, P. A. *Física/2a*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984.