

**A RESOLUÇÃO DE SITUAÇÕES-PROBLEMA EXPERIMENTAIS NO CAMPO
CONCEITUAL DO ELETROMAGNETISMO: UMA TENTATIVA DE IDENTIFICAÇÃO
DE CONHECIMENTOS-EM-AÇÃO¹¹**

**(Solving experimental problem situations in the conceptual field of electromagnetism: an
attempt to identify knowledge-in-action)**

Célia Maria Soares Gomes de Sousa
Universidade de Brasília/Instituto de Física
celiasousa@unb.br

Marco Antonio Moreira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Física
moreira@if.ufrgs.br

Thiago Alexandre Melo Matheus
Universidade de Brasília/Instituto de Física
thiagalex@hotmail.com

Resumo

Neste estudo analisamos o desempenho de alunos universitários em uma disciplina de Física Experimental que aborda o conteúdo de Eletromagnetismo, em nível de Física Geral. Tal análise procedeu-se à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. Para isso, delineamos situações e materiais instrucionais, implementados ao longo do estudo, que foram construídos visando promover a aprendizagem significativa de conceitos físicos e a resolução de situações-problema experimentais, no contexto do laboratório didático onde ocorrem as aulas da disciplina em questão. Esse trabalho nos forneceu evidências de que, de fato, o estudo do domínio dos campos conceituais, pelos alunos, é um trabalho de longo prazo, que deve ser feito em vários ciclos ou etapas, com o aperfeiçoamento da metodologia e dos materiais utilizados, na medida em que se percebe o progressivo domínio, por parte dos alunos, dos campos conceituais em questão.

Palavras-chave: situações-problema experimentais, campos conceituais, conhecimentos-em-ação, eletromagnetismo.

Abstract

In this paper we analyse the achievement of college students in an introductory experimental physics course in electromagnetism. Such analysis was carried out in the light of Vergnaud's conceptual fields theory. In order to do this, we prepared problematic situations and instructional materials designed to promote meaningful learning of physics concepts and problem solving in the context of the didactical laboratory in which classes of such a course took place. The evidence gathered in the study suggested that, in fact, the mastering of a conceptual field is a long run activity that must be carried out in cycles or stages, improving the methodology and instructional materials according to students' progress in such a field of knowledge.

Keywords: experimental problem-situations, conceptual fields, knowledge-in-action, electromagnetism.

¹¹ Uma versão preliminar desse trabalho, referente à primeira etapa da pesquisa, foi apresentada no V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (V ENPEC), realizado no período de 29/11/05 a 03/12/2005 em Bauru, SP.

Introdução

Este trabalho faz parte de um estudo mais amplo que tem por objetivo tratar a resolução de problemas em Física à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud, com vistas ao delineamento de estratégias instrucionais para o ensino dessa disciplina (Moreira et al., 2004).

A resolução de problemas, o ensino de laboratório e a aprendizagem de conceitos são três questões que têm se destacado nas pesquisas da área de ensino de Física. Dentre estas, a resolução de problemas sempre foi um tópico muito especial. Afinal, o desenvolvimento das ciências exatas tem sido visto, com frequência, como resposta a determinados problemas e resolver problemas sempre foi visto como uma atividade inteligente por excelência.

Em razão disso, o interesse no estudo da resolução de problemas de Física: por um lado, a questão diz respeito ao aspecto psicológico, não apenas no que se refere às elaborações e regulações cognitivas do indivíduo que soluciona como também no que concerne ao próprio conceito de problema e como este se relaciona com um campo conceitual específico; por outro, o tema responde a uma demanda dos próprios professores de Física e, portanto, trata-se de um tópico que tem um significado particular no que se refere à prática de sala de aula. Logo, este é um tópico de interesse tanto para os pesquisadores que estudam a Psicologia do Desenvolvimento Cognitivo como para aqueles preocupados com o ensino da Física.

Uma das tendências na área atualmente é a defesa de que o progresso na compreensão da resolução de problemas está vinculado ao progresso na compreensão da aprendizagem das tarefas envolvidas nesse processo. Nesta mesma linha de raciocínio, há a defesa da necessidade de se distinguir o estado da resolução de problema, o conhecimento declarativo e o conhecimento procedural. Dentro destas tendências estão alguns aportes teóricos mais explícitos no que diz respeito à análise cognitiva do sujeito humano frente a uma situação-problema, como é o caso da teoria dos campos conceituais de Vergnaud (Sousa, 2001; Moreira, 2002).

Na pesquisa aqui descrita, adotamos o referencial teórico dessa teoria para analisar as estratégias cognitivas que os alunos desenvolvem ao se deparar com uma situação-problema no contexto do ensino no laboratório didático (a isso chamamos de situação-problema experimental). Especificamente, pretendemos inferir possíveis invariantes operatórios que se evidenciem neste processo, comparando-os com o conhecimento cientificamente aceito.

Neste procedimento, o importante é estabelecer quais conceitos os alunos demonstram dificuldade em assimilar para dominar a situação-problema e, a partir daí, formular propostas que otimizem a aprendizagem destes conceitos. Estamos, então, buscando uma maneira adequada de descrever o desenvolvimento das estratégias cognitivas ligadas ao conteúdo de Física na resolução de problemas, particularmente no contexto do laboratório didático.

Referencial Teórico

A teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud é uma teoria psicológica de conceitos, uma teoria cognitivista do processo de conceitualização do real, como ele próprio diz. É uma teoria pragmática no sentido de que pressupõe que a aquisição do conhecimento é moldada por situações e problemas e ações do sujeito nessas situações. Quer dizer, é por meio de situações e problemas a resolver que um conceito adquire sentido para o aprendiz (Moreira, 2002). Esta teoria parte da premissa de que não se pode evidenciar e analisar as dificuldades encontradas pelos alunos, ignorando as especificidades dos conteúdos envolvidos e não levando em consideração o processo

de conceitualização do real no qual está engajado o aprendiz (Vergnaud, 1983). O conceito de campo conceitual é, então, introduzido como a unidade de estudo adequada para dar sentido às dificuldades observadas nesse processo de conceitualização do real. Assim, o professor sempre trabalhará baseado nas dificuldades do aprendiz.

Vergnaud (1982) toma como premissa que o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio, por parte do sujeito, ocorre ao longo de um longo período de tempo através de experiência, maturidade e aprendizagem. Para ele, campo conceitual é um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição (ibid.).

As situações, para Vergnaud, não são de caráter didático; elas podem ser pensadas como um certo complexo de objetos, propriedades e relações em um espaço e tempo determinados, envolvendo o sujeito e suas ações. São as situações que dão sentido aos conceitos, ou seja, um conceito torna-se significativo para o sujeito por meio de uma variedade de situações e diferentes aspectos de um mesmo conceito estão envolvidos em distintas situações. Por outro lado, uma situação não pode ser analisada por intermédio de um só conceito. Por isso, deve-se falar em campos conceituais ao invés de situações isoladas ou conceitos isolados (Vergnaud, 1994)

Como são as situações que dão sentido aos conceitos, é natural definir campo conceitual como sendo, sobretudo, um conjunto de situações, cujo domínio requer, por sua vez, o domínio de vários conceitos, procedimentos e representações de naturezas distintas (Vergnaud, 1988).

Conceitos são definidos por três conjuntos: 1º) $S \rightarrow$ um conjunto de situações que constituem o *referente* do conceito; 2º) $I \rightarrow$ um conjunto de invariantes operatórios (teoremas e conceitos-em-ação) que dão o *significado* do conceito; 3º) $R \rightarrow$ um conjunto de representações simbólicas que compõem o *significante* do conceito.

Assim como as situações dão sentido aos conceitos, os esquemas dão sentido às situações. São os esquemas evocados no sujeito por uma situação que constituem o sentido dessa situação para esse sujeito. Esquema é uma organização invariante da conduta para uma determinada classe de situações (Vergnaud, 1990). Não é o comportamento que é invariante, mas sim a organização do comportamento. Isso significa que um esquema é um universal eficiente (não necessariamente eficaz) para todo um espectro de situações, podendo gerar diferentes seqüências de ações, dependendo das características de cada situação em particular (Vergnaud, 1998).

Um esquema comporta objetivos e antecipações, regras de ação, invariantes operatórios e possibilidades de inferência (Vergnaud, 1990). Destas componentes, as mais importantes são os invariantes operatórios – cujas principais categorias são os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação – pois eles é que fazem a articulação entre teoria e prática, constituindo a base conceitual, em grande parte implícita, que permite obter informação apropriada e, a partir dela e dos objetivos, inferir as regras de ação mais pertinentes para abordar as situações. *Teorema-em-ação* é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; *conceito-em-ação* é uma categoria de pensamento considerada como pertinente (Vergnaud, 1996). Se um esquema se aplica a uma classe de situações, ele deve conter invariantes operatórios relevantes a toda a classe. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação não são verdadeiros conceitos e teoremas científicos, mas são componentes essenciais dos esquemas e estes são a base do desenvolvimento cognitivo.

Os invariantes operatórios constituem um conhecimento predominantemente implícito e o aprendiz tem dificuldade em explicá-lo ou expressá-lo, mas isso não significa que tal conhecimento não possa ser explicitado. É através do processo de explicitação do conhecimento implícito que os

teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação podem tornar-se verdadeiros teoremas e conceitos científicos e, aí, o papel mediador do professor é fundamental. Uma proposição explícita pode ser debatida, uma proposição tida como verdadeira de maneira totalmente implícita, não. Assim, o caráter do conhecimento muda se for comunicável, debatido e compartilhado (Vergnaud, 1996).

À medida que os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação se tornam mais claros e próximos dos teoremas e conceitos científicos, eles fazem com que o esquema seja mais eficaz e mais útil. Além disso, possibilitam a criação, pelo indivíduo, de esquemas mais complexos, mais eficientes e mais úteis, o que proporciona avanço. Isso pode ser caracterizado como aprendizagem, na óptica de Vergnaud.

Vergnaud considera o professor como importante mediador no longo processo que caracteriza o progressivo domínio de um campo conceitual pelo aluno. Sua tarefa consiste principalmente em ajudar o aluno a desenvolver seu repertório de esquemas e representações. Novos esquemas não podem ser desenvolvidos sem novos invariantes operatórios. A linguagem e os símbolos são importantes nesse processo de acomodação e o professor faz amplo uso deles na sua função mediadora; mas o principal ato mediador do professor é o de prover situações frutíferas aos alunos (Vergnaud, 1994)

Metodologia

O estudo foi desenvolvido em duas etapas, as quais correspondem, em termos cronológicos, a dois semestres letivos consecutivos em nível universitário. Participaram alunos da disciplina Física 3 Experimental, oferecida pelo Instituto de Física da Universidade de Brasília, durante o segundo período letivo de 2004 e o primeiro período letivo de 2005. Esta disciplina é composta de 10 experimentos, versando sobre os conteúdos de Eletromagnetismo. Foi escolhido, para a pesquisa, o experimento que explorava os conceitos relacionados às deflexões eletromagnéticas.

Na primeira etapa, o desenvolvimento da situação-problema correspondente a cada experimento foi conduzido de forma diferenciada. Essa forma diferenciada que, basicamente, consistia em dar subsídios teóricos antes de cada experimento, já havia sido testada em ocasiões anteriores e demonstrou uma eficácia maior, para o desenvolvimento do experimento, do que a maneira tradicional de apenas mencionar os conceitos relacionados aos experimentos para os alunos, antes da execução de cada um deles. No início de cada aula, então, a docente da turma apresentou uma introdução teórica, explicitando os conceitos que seriam abordados no experimento e, ao final de cada experimento, foi aplicado um teste constando de um conjunto de questões. Tais questões consistiam de situações-problema diferentes daquelas propostas durante a realização dos experimentos, mas sem fugir do aporte teórico abordado em sala de aula. Essas questões foram elaboradas com a intenção de que provocassem a explicitação de invariantes operatórios utilizados pelos alunos para resolver a situação-problema experimental proposta em cada experimento. Na realização de cada prática os alunos seguiram os procedimentos experimentais na forma pela qual estão propostos na apostila da disciplina.

O material gerado pelas respostas às questões aplicadas foi submetido a uma análise qualitativa, com o objetivo de inferir os invariantes operatórios que poderiam ter emergido nesse processo, evidenciando possíveis dificuldades dos alunos em termos da aprendizagem significativa do tópico em questão, na situação experimental.

A partir dos resultados obtidos na primeira etapa, sentimos a necessidade de reestruturar a metodologia para a próxima etapa principalmente porque com questões propostas **ao final** do experimento não conseguimos elementos para inferir invariantes operatórios, nem sequer possíveis

indicadores dos mesmos. Identificamos as principais dificuldades apresentadas pelos alunos, em termos conceituais, no tema do experimento, e promovemos algumas modificações na metodologia para a segunda etapa.

Não houve modificações na maneira pela qual a aula seria ministrada, mas o texto da apostila foi reestruturado de forma a ser mais abrangente conceitualmente. No novo texto, o procedimento experimental foi orientado, em termos de questionamentos e direcionamento dos passos, com questões a serem respondidas **ao longo** do processo. As questões do teste também foram reestruturadas no sentido de ficarem mais claras para o aluno, na situação de resolução da situação-problema experimental. Procuramos, com isso, minimizar uma das maiores dificuldades observadas na primeira etapa: o fato de parte dos alunos ter encontrado dificuldades em desvincular as situações-problema, propostas nas questões, da situação experimental.

Resultados e Discussão

Primeira etapa

Como já foi dito, participaram dessa etapa alunos da disciplina Física 3 Experimental, oferecida pelo Instituto de Física da Universidade de Brasília durante o segundo período letivo de 2004. Foi escolhido um experimento para o desenvolvimento do estudo: o de deflexões eletromagnéticas de elétrons. Analisamos as respostas de 43 alunos para a situação-problema proposta, que era a seguinte:

Se um elétron sofre desvio ao passar por uma região do espaço, podemos afirmar que existe campo elétrico na região? E se ele não sofre desvio podemos afirmar que o campo não existe? Explore, justificando a(s) sua(s) resposta(s), todas as possibilidades para o comportamento do elétron, nas condições estabelecidas acima.

A análise dos dados assim obtidos nos permitiu identificar basicamente duas categorias de respostas

Categoria 1 – Sistemas isolados: as respostas foram formuladas considerando um sistema isolado, onde se encontrava apenas o elétron sob a ação de um campo elétrico e/ou magnético. E, em relação aos campos, não foi feito nenhum tipo de restrição como, por exemplo, a de que os campos não precisavam, ou precisavam, ser uniformes.

Categoria 2 – Situações específicas: as respostas consideravam sistemas não isolados ou sob determinadas condições, como, por exemplo, aquelas em que o experimento foi realizado¹².

As duas categorias podem ser caracterizadas por respostas que parecem evidenciar compreensão cientificamente adequada e respostas que parecem evidenciar uma compreensão cientificamente inadequada da situação-problema e dos campos conceituais envolvidos. Nas tabelas 1 e 2 apresentamos o resultado da tabulação das respostas por categorias:

¹² Este experimento é desenvolvido em duas etapas. Após a montagem do aparato experimental correspondente (os equipamentos disponíveis são, basicamente, tubos de raios catódicos, fontes de alta tensão, baterias e pares de solenóides), cada uma dessas etapas consiste basicamente em:

etapa 1 – estudo da deflexão elétrica, efetuando medidas do deslocamento de um feixe de elétrons, submetido a um campo elétrico, na tela do tubo de raios catódicos;

etapa 2 – estudo da deflexão magnética, efetuando medidas do deslocamento de um feixe de elétrons, submetido a um campo magnético, na tela do tubo de raios catódicos.

Tabela 1: número de respostas por categoria

Sistemas isolados	Situações específicas
74,5%	25,5%

Tabela 2: tipos de respostas em cada categoria

Sistemas isolados		Situações específicas	
CCA	CCI	CCA	CCI
68,8%	31,2%	55,5%	45,5%

CCA – Compreensão cientificamente adequada

CCI – Compreensão cientificamente inadequada

Apresentamos a seguir trechos transcritos das respostas como exemplos ilustrativos de cada categoria. São transcrições de alunos distintos.

Sistemas isolados (Compreensão cientificamente adequada)

Se o elétron não sofre desvio, não se pode afirmar que não existe campo elétrico na região. Para que isso aconteça (não sofrer desvio) há as seguintes possibilidades:

- *o campo elétrico é inexistente ou paralelo à direção de deslocamento do elétron (nesse caso, a força elétrica tem a mesma direção do deslocamento, não causando desvio algum). E o campo magnético é inexistente ou paralelo à direção de deslocamento do elétron (nesse caso a força magnética, que é sempre perpendicular ao plano formado pelos vetores velocidade e campo magnético, é nula, não desviando o elétron).*
- *o campo elétrico é não nulo e não paralelo à direção de deslocamento do elétron (nesse caso, a força elétrica não tem a mesma direção do deslocamento, o que acarreta um desvio). E o campo magnético existe e é não paralelo à direção de deslocamento, de forma que a força magnética somada à força elétrica tenha uma resultante nula ou paralela à direção de deslocamento do elétron, evitando o desvio que seria causado pela força elétrica.*

Se o elétron sofre desvio não se pode afirmar que o campo existe, pois há as seguintes possibilidades:

- *o campo elétrico é inexistente, mas há um campo magnético não paralelo à direção de deslocamento do elétron que causa um desvio;*
- *o campo elétrico é paralelo à direção de deslocamento do elétron e há um campo magnético não paralelo à direção do deslocamento do elétron que causa um desvio;*
- *o campo elétrico existe e é não paralelo à direção de deslocamento. Neste caso, ocorre o desvio, contanto que não exista um campo magnético que gere uma força magnética que, em composição com a força elétrica, se anule ou resulte numa força paralela à direção de deslocamento.*

Todas as respostas dessa categoria tiveram aproximadamente a mesma estrutura e, provavelmente, utilizaram teoremas-em-ação semelhantes, apenas com modificações em relação à linguagem. As respostas evidenciam um domínio satisfatório, nesse nível de ensino, sobre o campo conceitual em questão, mas não explicitaram o conhecimento-em-ação utilizados.

Sistemas isolados (Compreensão cientificamente inadequada)

Se o elétron não sofre desvio, não quer dizer que não existe campo elétrico; primeiro porque o campo pode ser um tanto pequeno que não influenciaria trajetória; segundo porque pode

existir um campo magnético na mesma direção e sentido contrário do campo elétrico que anule tal desvio; e terceiro pode existir forças que não permitam o desvio do elétron.

Se o elétron sofre desvio, não necessariamente existe um campo elétrico, até porque o elétron pode ser desviado por uma força qualquer ou por um campo magnético

As respostas enquadradas nessa categoria foram mais diversificadas, mas estes exemplos ilustram bem as características da categoria. Podemos encontrar nessa resposta evidências de teoremas-em-ação inadequados, que traduzem uma não compreensão dos campos conceituais envolvidos na situação problemática. A proposição “*pode existir um campo magnético na mesma direção e sentido contrário do campo elétrico que anule tal desvio*” foi utilizada por outros alunos que se enquadram nessa categoria. Tal proposição poderia ser um teorema-em-ação (i.e., uma proposição considerada verdadeira sobre a realidade). Ou, talvez, uma manifestação da seguinte proposição: “*se não há desvio é porque a partícula está sob a ação de campos iguais e opostos*”. Essa proposição se aplicaria a qualquer campo de força. Se assim fosse, seria, então, um teorema-em-ação, ou seja, uma regra implícita que seria usada em situações envolvendo partículas e campos. Não seria uma concepção alternativa, seria um conhecimento implícito que o aluno teria construído em situação formal de ensino e que integraria um esquema para lidar com situações envolvendo partículas e campos e que poderia também integrar modelos mentais necessários para dar conta de situações que o esquema desse. De qualquer modo, com esse conhecimento-em-ação resultariam respostas inadequadas cientificamente.

Isso evidencia a necessidade de se promover situações problemáticas efetivas para explorar melhor os conceitos relacionados à força de Lorentz, para que se torne claro para os alunos que o determinante para a deflexão é o fato de a soma das forças elétrica e magnética (força de Lorentz) ser não nula e com uma componente perpendicular à trajetória, e não o somatório de campos elétrico e magnético.

Situações específicas (Compreensão cientificamente adequada)

O elétron sofre, como sabemos, uma aceleração ao passar em um campo elétrico. Essa aceleração é quem pode dar o caráter de desvio do elétron. O ‘pode’ é porque essa aceleração assume qualquer direção e pode, portanto, não estar oblíqua à direção da velocidade (quando ocorre a deflexão ou desvio) que é quando temos mesma direção de velocidade e aceleração daí a velocidade iria variar, mas não em direção, logo, podemos ter campo ser ter desvio.

Se o elétron sofre desvio ao passar por uma região do espaço, não podemos implicar que isso se deve à presença de campos (magnético e/ou elétrico que estão totalmente interligados). Pode ser que essa deflexão tenha sido criada por uma força gravitacional. É claro, imaginando uma situação, que esse elétron pode passar perto de uma região altamente densa, a qual vai atraí-lo e ele mudará sua direção original.

Fiz uso de uma situação hipotética porque entendi que era para responder às questões considerando as observações do experimento e não o próprio experimento.

Nessa categoria, as respostas se caracterizaram por considerar a situação específica do experimento, o campo magnético da Terra, ou um campo gravitacional. Podemos inferir, neste exemplo, mesmo nas respostas de alunos que pareciam ter entendido a situação-problema, proposições que não estão de acordo com aquelas cientificamente aceitas. Seriam teoremas-em-ação que não fomos capazes de identificar. Parece-nos que a utilização de situações específicas para resolver a situação-problema pode dificultar a elaboração da solução.

Situações específicas (Compreensão cientificamente inadequada)

Se um elétron não sofre desvio ao passar por uma região do espaço, não podemos afirmar que não existe campo elétrico ou magnético na região. Isso porque pode ocorrer do campo elétrico se anular com o campo magnético; conseqüentemente, não haverá deflexão do elétron.

Se o elétron sofre desvio, podemos afirmar que o campo existe. Isso ocorre porque a mudança de trajetória do elétron vai depender da presença de outras cargas que, conseqüentemente, produziriam um campo elétrico ou magnético que mudaria a trajetória da partícula. Sem campo não há mudança de trajetória.

Concluimos, então, que a presença de campo elétrico ou magnético não garante mudança de trajetória de partículas. Concluimos também que a mudança de trajetória implica na presença de um campo resultante diferente de zero.

As respostas pertencentes a essa categoria são caracterizadas, possivelmente, por teoremas-em-ação inadequados, com proposições errôneas, que traduzem uma não compreensão do campo conceitual envolvido na situação-problema. Provavelmente, o teorema-em-ação dos “campos iguais e opostos”, aludido antes, estaria presente também nos esquemas dos alunos que deram essas respostas.

Segunda etapa

Como mencionamos antes, a partir dos resultados obtidos na primeira etapa avaliamos a necessidade de reestruturação da metodologia para a segunda etapa. Identificamos as principais dificuldades apresentadas pelos alunos, em termos conceituais, sobre o tema do experimento, e efetuamos algumas modificações na metodologia, levando em conta o que consideramos ter gerado dificuldades para a tomada de dados na etapa anterior.

O texto da apostila foi reestruturado de forma a ser mais abrangente conceitualmente. Neste texto, o procedimento experimental foi orientado em termos de questionamentos e direcionamento dos passos com questões a serem respondidas ao longo do processo. A questão do teste também foi reestruturada.

Os estudantes que participaram da 2ª etapa tinham o mesmo perfil daqueles que participaram da 1ª etapa. Foram analisadas as respostas de 39 alunos para a situação-problema proposta:

Considere uma região no espaço onde só podem existir campos elétricos e magnéticos. Estabeleça todas as possibilidades, e explique fisicamente cada uma dessas possibilidades nas seguintes situações:

Para que um elétron, ao passar por essa região, não sofra deflexão.

Para que um elétron, ao passar por essa região, sofra deflexão.

As mudanças efetuadas na metodologia (questões ao longo do processo), a modificação do texto da apostila e da situação problema, levaram, no nosso entender, a mudanças nos tipos de soluções propostas pelos alunos. A primeira grande mudança que percebemos foi a inexistência de respostas do tipo “situações específicas”; o que parece ter sido devido, principalmente, à modificação da situação-problema. Nessa nova situação foi considerada uma região onde apenas existiam campos elétricos e magnéticos. Assim, excluímos a possibilidade de os alunos considerarem outras variáveis como a ação de um campo gravitacional, como ocorreu em alguns casos na etapa anterior.

Como na primeira etapa, classificamos as respostas dos alunos entre aquelas que pareciam evidenciar compreensão cientificamente adequada e aquelas que pareciam evidenciar uma compreensão cientificamente inadequada da situação-problema e dos campos conceituais envolvidos. Na tabela abaixo apresentamos o resultado:

Tabela 3: tipos de respostas na segunda etapa

CCA – Compreensão cientificamente adequada	CCI – Compreensão cientificamente inadequada
66,7%	33,3%

Apresentamos a seguir trechos transcritos das respostas como exemplos ilustrativos das categorias que identificamos na segunda etapa. São transcrições de diferentes alunos.

Compreensão cientificamente adequada

a) Para que um elétron não sofra deflexão

- não há nenhum campo

- há campo magnético e campo elétrico, porém as forças têm o mesmo módulo e direção, porém sentidos opostos, ou seja, a força de Lorentz é um vetor nulo.

- havendo apenas campo magnético, se a velocidade do elétron estiver na mesma direção do campo magnético, o produto $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ é nulo e a força magnética é nula, portanto sem deflexão.

- havendo apenas campo elétrico, se a velocidade do elétron estiver na mesma direção do campo elétrico, assim o elétron sofrerá aceleração, mas mantém sua trajetória.

- havendo ambos os campos, estes devem ser perpendiculares entre si e suas direções diferentes da velocidade do elétron, isso garante que as forças elétrica e magnética atuem na mesma direção, Para não haver deflexão, a força resultante deve ser nula:

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{E} + (\mathbf{v} \times \mathbf{B})) = 0$$

b) Para que o elétron sofra deflexão

- há um campo elétrico que cria uma força que atua sobre o elétron causando uma deflexão. Essa força é proporcional à ddp entre as placas (proporcional ao campo)

- há um campo magnético que cria uma força que atua sobre o elétron, causando uma deflexão. Essa força é proporcional ao campo e é proporcional à sua carga e à velocidade.

- há campo magnético e campo elétrico, porém a força de Lorentz não é nula, ou seja, as forças elétrica e magnética têm mesmo sentido, ou sentidos opostos, mas módulos diferentes.

As respostas dessa categoria tiveram aproximadamente a mesma estrutura e também parecem ser resultado da utilização de conhecimentos-em-ação semelhantes, apenas com modificações em relação à linguagem. As respostas evidenciam um domínio satisfatório, nesse nível de ensino, sobre o campo conceitual em questão, com a utilização de invariantes operatórios adequados. Aqui, podemos inferir a existência do teorema-em-ação “*para não haver deflexão sobre o elétron, a resultante das forças elétrica e magnética sobre ele deve ser nula*”. Apesar de não estar explicitado nessa forma, parece ser evidente a utilização, por parte dos alunos, desse conhecimento-em-ação, o que podemos atribuir à maior exploração, nessa etapa do estudo, dos conceitos relacionados à força de Lorentz. Por outro lado, esse teorema-em-ação poderia ser uma espécie de “versão eletromagnética” de um mais “genérico” que seria “*se a resultante é nula não há deflexão*”, aplicável, pelo aluno, a qualquer campo de força e partículas.

Compreensão cientificamente inadequada

a) Para que o elétron não sofra deflexão

(Não foram encontrados exemplos claros dessa subcategoria)

b) Para que o elétron sofra deflexão

- caso haja apenas campo elétrico, basta que a direção do campo elétrico e da velocidade do elétron não se sobreponham, pois, assim, a força elétrica irá variar a direção da velocidade do elétron

- se colocarmos $v // E$, a força resultante é igual a zero, $F_R = 0$, não realizando deflexão do movimento do elétron.

- força elétrica: como temos $q \neq 0$, para que exista uma F_e resultante, basta haver um campo elétrico no espaço.

- força magnética: para a força magnética, temos que a força resultante depende de v e B e v está constantemente modificando sua direção, assim sendo, teremos uma força resultante na forma centrípeta que causará essa deflexão.

As respostas enquadradas nessa categoria sugerem a utilização de conhecimentos-em-ação inadequados, que evidenciam pouco domínio dos campos conceituais envolvidos na situação-problema, provocando a formulação de respostas errôneas e/ou incompletas.

Comparando os dados obtidos nas duas etapas percebemos que, de maneira global, o desempenho foi bem parecido. Na primeira etapa da pesquisa 65,2% das respostas sugeriam uma compreensão adequada dos conceitos envolvidos na situação problema, enquanto na segunda etapa temos 66,7%. No entanto, durante a análise das respostas percebemos uma mudança na maneira que os alunos formulavam as soluções. Nas respostas da segunda etapa os alunos pareciam ter maior domínio sobre os campos conceituais. Os invariantes operatórios utilizados, teoremas e conceitos-em-ação, teriam sido mais abrangentes e mais próximos dos cientificamente aceitos.

Na análise dos dados da segunda etapa percebemos a influência do texto da apostila nas respostas dadas pelos alunos. No texto reformulado exploramos o conceito relacionado à força de Lorentz, pois percebemos que alguns alunos relacionavam a existência de deflexão à condição de o somatório dos campos elétrico e magnético ser não nulo, o que não é correto. Em 48,7% das respostas dos alunos na segunda etapa percebemos a utilização do conceito de força de Lorentz para explicar a existência, ou não, de deflexão.

Com isso, percebemos a importância de o texto das apostilas utilizadas nos laboratórios como material de apoio ser claro e completo, pois, para parte dos alunos, aquele texto parece acabar sendo a única fonte a qual recorrem para dar conta de trabalhar a situação-problema experimental.

Conclusão

Consideramos nesta investigação que o estudo de um campo conceitual envolve identificar e classificar situações e, então, coletar dados sobre os procedimentos e outras formas através das quais os estudantes expressam seu raciocínio. Delineamos as situações e acompanhamos os alunos no processo de resolução dessas situações-problema experimentais propostas, tendo como referência o que faziam no laboratório.

Na segunda etapa alteramos, com base nos resultados da primeira, a metodologia de ensino e obtivemos melhores resultados. As soluções, dadas pelos alunos, para a situação problema, pareceram evidenciar uma compreensão maior dos campos conceituais em questão. As modificações feitas no texto da apostila demonstraram a importância deste material como auxiliar na construção dos invariantes operatórios adequados, por parte dos alunos, para a resolução da situação problema. Com a possibilidade de um maior número de etapas, poderíamos melhorar o material escrito e os procedimentos de investigação de forma a promover um melhor domínio dos alunos em relação aos campos conceituais envolvidos no experimento.

Cabe aqui ressaltar a dificuldade de desenvolver estudos dessa natureza em cursos universitários de massa, em especial em disciplinas experimentais. Nessas disciplinas há muitas turmas, para as quais já existe uma apostila, com os procedimentos experimentais já prontos, padronizados, e inseridos em um cronograma de execução bastante rígido. O trabalho do pesquisador, mesmo sendo o docente responsável pela turma em questão, é bastante árduo no sentido de viabilizar, junto à coordenação da disciplina, aos técnicos de laboratório e mesmo junto aos alunos, a condução do trabalho a contento. Não acreditamos que as dificuldades aqui apontadas inviabilizem tais estudos, mas alertamos para a necessidade de um planejamento prévio bastante criterioso, considerando variáveis que estão além daquelas envolvidas estritamente na metodologia da pesquisa.

Um outro ponto que consideramos pertinente destacar refere-se à necessidade de prover situações-problema efetivas, não apenas no sentido de procurar avaliar a ocorrência de aprendizagem significativa dos conteúdos ensinados, mas também que permitam/ provoquem a explicitação do conhecimento-em-ação utilizado pelo aluno ao tentar resolvê-las. Ao identificar esse conhecimento-em-ação, o professor poderá avaliá-lo e utilizá-lo como embasamento para a construção de situações de materiais instrucionais mais efetivos para a promoção da aprendizagem significativa.

Constatamos, com esse estudo que, de fato, a investigação sobre o domínio dos campos conceituais é um programa de longo prazo, que deve ser feito em vários ciclos e que dificilmente pode ser feito por um pesquisador isolado ou, mesmo, por um grupo de pesquisa isolado. O estudo nos foi bastante importante no sentido de fornecer evidências sobre como se processa a inserção, pelos alunos, em um campo conceitual específico. A partir de tais evidências podemos delinear situações e elaborar materiais a serem utilizados com os estudantes, com vistas à aprendizagem significativa de conceitos físicos e à resolução de problemas e também para embasar pesquisas futuras.

Contudo, não fomos ainda capazes de, efetivamente, identificar os invariantes operatórios utilizados pelos alunos, exceto os seguintes: “*a não deflexão do elétron resulta da existência de campos, elétrico e magnético, de mesma direção, porém, de sentidos opostos (i.e., “se não há desvio é porque a partícula está sob a ação de campos iguais e opostos”)”* e “*para não haver deflexão sobre o elétron, a resultante das forças elétrica e magnética sobre ele deve ser nula (i.e., “se a resultante é nula, não há deflexão”)”*. Por essa razão, continuaremos realizando novos estudos à luz da teoria dos campos conceituais, procurando “afinar” a metodologia de pesquisa.

Bibliografia

- MOREIRA, M. A. (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, 7 (1): 7-30.
- MOREIRA, M. A.; CABALLERO, C.; ESCUDERO, C.; SOUSA, C. M. S. G.; COSTA, S. S. C.; (2004). *Situações-Problema em Campos Conceituais da Física: identificação de*

conhecimentos-em-ação e delineamento de estratégias instrucionais à luz da teoria de Vergnaud. Projeto de Pesquisa em andamento com apoio do CNPq.

- SOUSA, C. M. S. (2001). *A Resolução de Problemas e o Ensino de Física: Uma Análise Psicológica*. Tese de Doutorado. Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília.
- VERGNAUD, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (1982). *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N.J.:Lawrence Erlbaum.pp.39-59.
- VERGNAUD, G. (1983). Multiplicative structures. In Lesh, R. and Landau, M. (Eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. pp. 127-174.
- VERGNAUD, G. (1988). Multiplicative structures. In Hilbert, J. and Behr, M. (Edts). *Research Agenda in Mathematics Education. Number, Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum. Pp141-161.
- VERGNAUD, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Récherches em Didactique des Mathématiques*, 10(23): 133 – 170.
- VERGNAUD, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. pp. 41-59.
- VERGNAUD, G. (1996). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, nº4: 9-19.
- VERGNAUD, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2): 167 – 181.