

SIGNIFICADOS ATRIBUÍDOS AOS CONCEITOS DE CAMPO ELÉTRICO E POTENCIAL ELÉTRICO POR ESTUDANTES DE FÍSICA GERAL^(*)

H. EUGENIA DOMÍNGUEZ

*Universidad de Oriente/Unidad de Estudios Básicos/Núcleo Monagas/
Departamento de Ciencias Sección Física/Maturín/Venezuela*

MARCO ANTONIO MOREIRA

Instituto de Física - UFRGS 90049 Porto Alegre-RS Brasil

INTRODUÇÃO

A aprendizagem significativa de um conceito implica em uma perspectiva ausubeliana (Ausubel, 1978) - necessariamente que o aprendiz lhe atribua significados conotativos idiossincráticos, pois esse tipo de aprendizagem se caracteriza exatamente pela incorporação não literal e não arbitrária da nova informação à estrutura cognitiva do indivíduo. Todavia, conceitos têm também significados denotativos que são aqueles compartilhados por uma determinada comunidade de usuários em um certo contexto e lhes permitem comunicação através de tais significados. Na Física, por exemplo, cada conceito tem determinados significados aceitos contextualmente por físicos, professores de Física, estudantes de Física e outros possíveis usuários.

Na prática, no entanto, é comum encontrar-se particularmente no caso da Física, não só significados idiossincráticos mas também significados compartilhados por muitos indivíduos e que estão em desacordo com aqueles aceitos cientificamente. Diz-se então que tais indivíduos tem concepções espontâneas, conceitos intuitivos, referenciais alternativos, e outras denominações. Por outro lado, argumenta-se que muitas vezes tais significados são produtos da instrução formal, ou seja, são adquiridos ou reforçados na escola e, portanto, não são espontâneos ou intuitivos e sim errôneos. Sem entrar na questão de como são adquiridos, poder-se-ia dizer que esses significados são funcionais para o indivíduo que os tem - na medi-

(*) Trabalho parcialmente financiado por FINEP e CNPq (Brasil) e Universidad de Oriente (Venezuela).

da em que tem funcionalidade para ele - mas que são interpretações contextualmente não aceitas do conceito a que se referem.

A importância da existência desses significados, do ponto de vista instrucional, reside na grande influência que podem ter na aprendizagem subsequente. Parece haver um crescente consenso entre pesquisadores que seguem uma orientação construtivista no sentido de que o conhecimento prévio do aprendiz é fator determinante na aprendizagem de novos conceitos, idéias e proposições. Em razão disso, muitas pesquisas têm sido conduzidas na área de ensino de ciências a fim de investigar significados tidos por estudantes, em diferentes níveis de escolaridade, em relação a conceitos científicos.

Na pesquisa em ensino de Física este assunto é provavelmente o mais investigado no momento atual e rapidamente está se procurando passar da simples detecção de significados funcionais para a busca de estratégias que facilitem sua troca por outros contextualmente aceitos. Embora a maioria dessas pesquisas tenha sido conduzida em mecânica (e.g., McDermott, 1984), em pouco tempo várias outras áreas terão sido investigadas. Em eletricidade, o foco tem sido o conceito de corrente elétrica, ou de intensidade da corrente elétrica, em circuitos elétricos simples. Por exemplo estudos feitos por Evans (1978), Fredette e Lochheas (1980), Osborne e Gilbert (1980), Cohen et al. (1983), Closset (1983), Shipstone (1984), Domínguez e Moreira (1986) e outros, têm indicado, de um modo geral, que muitos alunos, tanto no nível secundário como no universitário básico, em suas explicações usam o termo "corrente" como se fosse um conceito primário, cuja intensidade depende somente do gerador que existe no circuito e é "repartida" entre os componentes do circuito ou vai sendo "gasta" à medida que "atravessa" esses componentes.

Em relação a outros conceitos na área de eletricidade, como é o caso de campo elétrico e potencial elétrico que são objetos do presente estudo, pouco há na literatura no que se refere ao tema em pauta. A título de exemplo, pode-se citar novamente o trabalho de Cohen et al. (1983) por ter alguma relação com potencial elétrico. Um de seus resultados com estudantes de escola secundária foi que muitas vezes eles têm conhecimento da relação formal $V=IR$ mas a interpretam erroneamente, pois a diferença de potencial elétrico é considerada como uma consequência do fluxo de corrente elétrica, não como sua causa; frequentemente raciocinam que se $I=0$ então $V=0$. Este resultado foi também obtido por Domínguez e Moreira (1986) com estudantes de engenharia.

Assim sendo, embora o presente trabalho ainda se situe no nível de detecção de significados - quando se sabe que o problema agora é como superar esta fase - provavelmente se justifica por a-

bordar conceitos ainda pouco explorados.

DESCRIÇÃO DO ESTUDO

A investigação relatada neste trabalho faz parte de um estudo mais amplo (Domínguez, 1985) sobre detecção de conceitos intuitivos em eletricidade através de entrevistas clínicas, envolvendo estudantes de engenharia e focalizando não só os conceitos de campo elétrico e potencial elétrico, mas também os de intensidade da corrente elétrica e diferença de potencial elétrico. Esse estudo foi precedido de uma fase piloto na qual estudantes do mesmo tipo de população foram entrevistados clinicamente sobre os mesmos conceitos, com a finalidade de proporcionar aos pesquisadores maior experiência nesse tipo de entrevista e de antecipar problemas que poderiam ser contornados quando da realização da pesquisa propriamente dita. Os resultados e dificuldades encontrados nessa primeira fase piloto e que serviram de subsídio para a segunda, estão descritos em outro trabalho (Domínguez e Moreira, 1986). Analogamente, os resultados da segunda etapa relativos aos conceitos de intensidade da corrente elétrica e diferença de potencial elétrico em circuitos elétricos simples estão também descritos em outro artigo (Moreira e Domínguez, 1986). Assim, o presente trabalho refere-se somente à segunda etapa do estudo já mencionado e apenas aos conceitos de campo elétrico e potencial elétrico.

Quinze alunos participaram desta etapa e foram entrevistados clinicamente em duas oportunidades: a primeira antes de terem estudado, no curso, tópicos relativos ao conteúdo da entrevista e a segunda após tê-lo feito. A segunda entrevista foi realizada de modo a deixar o máximo intervalo de tempo possível entre o momento em que o aluno havia terminado de estudar o conteúdo e a ocasião de ser entrevistado. O motivo dessa decisão foi o de evitar que a possível aprendizagem mecânica de algum tópico (aprendizagem que é esquecida com facilidade) pudesse tornar a segunda entrevista mais difícil para o entrevistador, já que seguramente ele teria que formular mais perguntas, e bem elaboradas, para poder concluir que se tratava de aprendizagem mecânica.

Na verdade, o estudo começou com 26 estudantes que representavam a quase totalidade dos alunos matriculados no curso, os quais foram entrevistados clinicamente antes da instrução relativa a um ou mais dos conceitos investigados. Na prática, no entanto, como o estudo tinha por objetivo investigar também a eventual permanência, após a instrução, dos significados detectados anteriormente a ela, foram levados em consideração apenas os dados relativos a estudantes entrevistados duas vezes sobre o mesmo conceito, uma

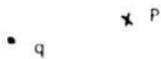
anterior e uma posterior à instrução. Dos 26 alunos iniciais, 18 concluíram todas as unidades e foram aprovados no curso, os demais desistiram nas primeiras unidades. Desses 18, foi possível entrevistar, duas vezes, 15 sobre o conceito de potencial elétrico e 10 sobre campo elétrico. Escolheu-se a entrevista clínica como técnica de pesquisa por duas razões: primeiro porque estudos anteriores (e.g. Novak, 1981) sugeriam que, provavelmente, era a melhor maneira de obter informações sobre a organização cognitiva do aluno em uma certa área de conhecimento e, segundo, porque o formato de instrução adotado no curso onde foi conduzida a investigação favorecia o uso de uma técnica não convencional de avaliação do conhecimento do aluno. Esse curso foi o de Física II - Eletricidade e Magnetismo - oferecido pelo Departamento de Física da UFRGS para estudantes de engenharia no segundo semestre letivo de 1984. O formato instrucional foi o chamado Sistema de Instrução Personalizada (Moreira, 1977) ou Método Keller (Keller, 1972); neste método o conteúdo é dividido em unidades relativamente pequenas e o aluno trabalha com ritmo próprio. O ambiente em classe é informal e o estudante logo se habitua a interagir individualmente com o professor ou com o monitor em uma situação similar a de uma entrevista. No curso em questão, o conteúdo estava dividido em 20 unidades, incluindo cinco de laboratório, e o livro de texto era o de Halliday e Resnick (1974). Dessas vinte unidades, a terceira se referia especificamente a campo elétrico e a quinta a potencial elétrico. O fato dessas unidades estarem entre as primeiras da série de 20, explica porque foi possível entrevistar apenas 10 alunos sobre o conceito de campo elétrico antes de estudarem a respectiva unidade e somente 15 sobre potencial elétrico. O fato de que todos os alunos foram entrevistados pelo mesmo pesquisador controlou a variável "diferentes entrevistadores". O outro pesquisador era o professor do curso e como tal acompanhou todo o processo e participou da análise dos dados, mas não os coletou. Como campo elétrico era a terceira unidade, a qual era logo atingida pelos alunos, e como cada entrevista, feita durante o período normal de atividades do curso, durava de 25 a 50 minutos, ocorreu que vários alunos chegaram a essa unidade antes que tivessem sido entrevistados. Nesse caso, a primeira entrevista versou somente sobre os conceitos ainda não estudados.

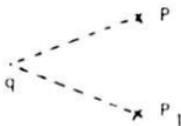
Todas entrevistas foram gravadas e posteriormente transcritas. Junto com cada gravação foram mantidas as folhas onde se apresentaram as tarefas e onde o aluno escreveu ou desenhou alguma coisa, se sentiu a necessidade de fazê-lo. Foram também guardadas as folhas onde o entrevistador anotou alguma observação que lhe pare-

ceu interessante. Ao transcrever cada entrevista, o que foi escrito ou desenhado pelo estudante nas folhas foi inserido no lugar correspondente, o qual era possível de ser localizado porque o aluno dizia em voz alta o que escrevia ou desenhava ou, em caso contrário, isso era feito propositalmente pelo entrevistador. As observações por ele anotadas foram também incluídas na transcrição.

Na análise dos dados, para cada aluno foi confeccionada uma ficha com um certo número de proposições, consideradas mais relevantes pelos pesquisadores, extraídas de suas respostas. Afóra isso, nenhuma técnica especial de análise qualitativa de dados foi utilizada. Apenas examinou-se exaustivamente as transcrições das entrevistas de cada aluno procurando inferir significados por ele atribuídos aos conceitos sob investigação, antes e após a instrução. Naturalmente, isso foi possível somente porque se trabalhou com um número reduzido de casos.

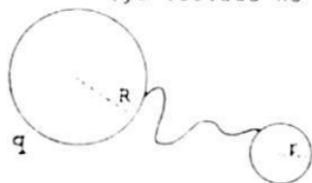
Com base na experiência adquirida no estudo piloto, as seguintes situações iniciais foram colocadas para os alunos relativamente ao conceito de campo elétrico:

1)  Vamos supor que temos somente a carga q . No ponto P , existe um campo elétrico?

2)  Os pontos P e P_1 são pontos que estão à mesma distância da carga q . O campo elétrico em P_1 é igual ou diferente do campo em P ?

A situação 2, na realidade, estava condicionada à resposta que o aluno desse à situação 1. A situação 1 (como todas, em geral) era apenas o estímulo para o início de uma conversação mantida com o aluno para averiguar que significados atribuía ao conceito de campo elétrico. Ela foi proposta porque no estudo piloto se observou que vários alunos pensavam que ao não existir carga no ponto P não existiria campo elétrico nesse ponto. A situação 2, quando era pertinente apresentá-la, visava aclarar a característica vetorial da função campo elétrico.

Para o conceito de potencial elétrico, a seguinte situação inicial (já testada no estudo piloto) foi proposta aos alunos:



O que ocorre ao unir uma esfera condutora

de raio R e carga q com outra esfera condutora de raio r ($r < R$) descarregada, através de um fio condutor longo e fino?

Cabe aqui reiterar que tais situações foram colocadas para os alunos como estimuladoras em relação ao conceito envolvido. Naturalmente, durante as entrevistas, o entrevistador, sempre que necessário para manter a continuidade e a direção das mesmas, fez perguntas aos entrevistados, procurando, no entanto, não sugerir nem inibir. O formato das entrevistas foi próximo daquele considerado flexível (Pines et al., 1978; Domínguez, 1985).

RESULTADOS

Conforme já foi dito, em relação ao conceito de campo elétrico foi possível entrevistar clinicamente 10 alunos, antes e após a instrução, tomando como ponto de referência as duas situações apresentadas na seção anterior. Os dados assim obtidos permitiram as inferências apresentadas a seguir.

- ANTES DA INSTRUÇÃO:

E_1 - Confunde-se campo elétrico com força elétrica e trata-se-o como um escalar. (estudantes 01, 02, 05, 09 e 17).

Esta confusão, em quatro casos, não foi fácil de identificar porque os alunos asseguravam a existência de campo elétrico de uma carga pontual em um ponto, porém ao tratar de justificar essa existência se referiam ao campo elétrico como a força que neste ponto exerceria a carga. Além disso, consideravam essa força (campo) como se fosse uma grandeza escalar.

E_2 - Campo elétrico de uma carga é a região (finita) ao redor da carga que fica modificada por sua presença, ou, é a região onde a carga exerce influência sobre outras cargas nela colocadas. (estudantes 04, 06 e 08).

Talvez se pudesse pensar que esses alunos estivessem confundindo a função campo elétrico com o domínio dessa função. Os autores, no entanto, acreditam que não é o caso e que para esses estudantes campo elétrico tinha o mesmo significado de uma região ou zona do espaço.

E_3 - Campos elétricos geram cargas elétricas. (estudante 03)

O campo elétrico tinha para esse aluno um significado um tanto mágico, misterioso; não sabia de onde provinha, somente afirmava que sua presença gerava cargas; se havia uma carga no ponto P é porque havia um campo elétrico ali. Foi impossível identificar a origem desse significado.

Nas entrevistas anteriores à instrução, somente um estudante pareceu ter o conceito científico de campo elétrico, inclusive referindo-se a ele como uma função de ponto vetorial definida como \vec{F}/q e dando mostras de entender o que isso significava. Dentre as observações anotadas pelo entrevistador figurava aquela que o identificava como aluno que, interessado em Física, havia assistido, enquanto fazia o segundo grau, cursos de extensão para secundaristas oferecidos pelo Instituto de Física da UFRGS.

- APÓS A INSTRUÇÃO:

Nessa oportunidade observou-se que alguns alunos continuavam atribuindo ao conceito de campo elétrico os mesmos significados que lhe haviam atribuído antes da instrução. Além desses, dois outros significados dignos de nota foram registrados:

E_4 - O campo elétrico exerce forças sobre pontos e é vetorial. (estudante 08)

Na verdade, este significado parece ser uma variação de E_1 , pois agora o campo elétrico aparece como uma grandeza vetorial. Ou seja, das respostas do aluno inferiu-se que campo elétrico tem um significado vetorial, porém aparentemente ainda confundido com força. Além disso, essa força é exercida sobre um ponto (i.e., o ponto tem propriedades materiais) do espaço; uma carga elétrica colocada nesse ponto "sente" a força ali exercida pelo campo.

E_5 - O campo elétrico de uma carga em um ponto pode ser representado pelas linhas de força associadas à carga criadora do campo. (estudantes 09 e 07)

Ao longo das entrevistas, a alguns alunos foi pedido que representassem o campo elétrico em um ponto, com objetivo de aclarar dúvidas que surgiram para o entrevistador provenientes de respostas anteriores desses alunos. Dois estudantes disseram que o campo elétrico de uma carga puntiforme em um ponto podia ser representado por linhas de força e um deles fez o seguinte desenho:

Ao insistir-se que o que se havia pedido era a representação do campo no ponto P, o aluno respondeu que as linhas de força "passavam" pelo ponto P.

Na tabela 1 estão resumidos os resultados relativos a campo elétrico. Observa-se nesta tabela que um aluno (06) deu evidências do significado E_1 somente após a instrução. Isso, no entanto, pode não ser uma decorrência da instrução; é provável que já o tivesse anteriormente a ela mas que não houvesse sido detectado pelo entrevistador. Na verdade, este é um problema que permeia toda a in

Tabela 1 - Diferentes significados atribuídos ao conceito de campo elétrico antes e após a instrução

Estu- dante Nº	E ₁		E ₂		E ₃		E ₄		E ₅	
	antes	após								
01	x	x								
02	x	x								
03					x	x				
04			x							
05	x	x								
06		x	x							
07										
08			x					x		
09	x									x
17	x	x								x
TOTAL	5	5	3	0	1	1	0	1	0	2

Um X indica que o aluno deu evidências de atribuir ao conceito de campo elétrico o significado correspondente.

investigação aqui relatada: o fato de um ou outro aluno não constar na tabela 1 como tendo atribuído um ou outro significado ao conceito em questão não quer dizer, necessariamente, que ele não atribua, de fato, tal significado a esse conceito. Pode ocorrer que suas explicações durante a entrevista não tenham fornecido evidências desse significado. Na análise desse tipo de dados, o pesquisador tem que se basear naquilo que o aluno externalizou explicitamente. Além disso, quando as evidências são fracas prefere-se não fazer inferências. Portanto, um X na tabela indica que os pesquisadores obtiveram fortes evidências de que o entrevistado atribuía ao conceito de campo elétrico o significado correspondente, porém a ausência de X não exclui, obrigatoriamente, tal possibilidade.

Examinando a tabela 1 constata-se também que a metade dos alunos entrevistados continuou, após a instrução, a atribuir ao conceito de campo elétrico os mesmos significados que atribuíam antes. Chama também atenção que o significado E₂ não foi detectado em nenhum estudante após a instrução. Todavia, assim como na primeira entrevista, apenas um aluno pareceu atribuir a esse conceito o significado de função de ponto vetorial definida por \vec{F}/q .

Quanto ao conceito de potencial elétrico, foi possível entrevistar 15 alunos antes e após a instrução, a partir da situação física descrita anteriormente e já testada no estudo piloto. Os dados obtidos permitiram observar e inferir o que se segue.

Todos alunos responderam que havia um movimento de cargas (elétrons, para a maioria) de uma esfera para a outra. Esse movimento era produzido por atração de umas cargas sobre outras, ou porque "alguma coisa" (sem especificá-la) puxava as cargas, ou porque as esferas inicialmente tinham cargas diferentes. Esse movimento cessava:

V_1 - Quando as cargas de ambas esferas se iguallassem (sem justificativa). (estudantes 03, 04, 05, 09 e 17)

V_2 - Quando as densidades superficiais de cargas em ambas esferas se iguallassem (também sem justificativa). (estudantes 02, 14, 15 e 16)

V_1 e V_2 foram consideradas pelos pesquisadores como respostas intuitivas a uma situação na qual entra em jogo o conceito de potencial elétrico.

Um aluno claramente procurou explicar a situação usando o conceito de energia potencial:

V_3 - Confunde-se potencial com energia potencial. (estudante 07)

Dois alunos disseram que o movimento de cargas cessava no momento em que as cargas das esferas fossem proporcionais aos seus raios, porém não deram justificativa para essa afirmação; sem dúvida, tratava-se de uma aprendizagem mecânica. O mesmo ocorreu com outros dois alunos para os quais a carga com que ficaria cada esfera, ao cessar o movimento, era dependente de seus tamanhos (a maior ficaria com mais carga).

Somente um estudante justificou o movimento de cargas de uma esfera para a outra dizendo que por haver uma diferença de potencial entre as esferas haveria uma corrente; essa corrente cessaria quando houvesse um "equilíbrio das cargas". Depois, esclareceu que quando o potencial ficasse zero e, finalmente, corrigiu, dizendo que quando o potencial de ambas as esferas fosse igual. Entretanto, teve dificuldade para expressar o que entendia por potencial.

Em geral, poder-se-ia dizer que talvez não existisse sequer um significado funcional de potencial elétrico na estrutura cognitiva da maioria dos estudantes entrevistados, provavelmente, por ser este um conceito bastante elaborado e abstrato não utilizado em cursos anteriores de Física que os alunos tivessem feito na escola secundária ou na universidade.

- APÓS A INSTRUÇÃO:

De um modo geral, o teor das entrevistas, i.e., as explicações dadas pelos estudantes, depois da instrução não diferiu muito daquele das entrevistas anteriores à instrução. Todavia, nesta oportunidade, cinco estudantes se referiram à diferença de potencial, porém somente em dois deles pareceu que não se tratava de aprendizagem mecânica.

Afora isso, observou-se que dois alunos atribuíram a potencial elétrico o significado de trabalho:

V_4 - Confunde-se potencial elétrico com trabalho ("trabalho para trazer uma carga do infinito ao ponto"). (estudantes 04 e 07)

Aliás, provavelmente, essa confusão era feita também por outros alunos em função da definição de potencial elétrico em um ponto feita no livro de texto (Halliday & Resnick, cap. 29, sec.29.1), como sendo: $V = W/q_0$ onde W é o trabalho feito por um agente externo para deslocar uma carga de prova q_0 do infinito até o ponto em questão. Entretanto, os demais alunos não explicitaram tal confusão.

Na tabela 2 estão resumidos os resultados referentes a potencial elétrico, antes e após a instrução. Observa-se nessa tabela que nenhum dos significados V_1 , V_2 , V_3 e V_4 foi detectado, antes ou após a instrução, nos estudantes 01, 06 e 11; ressalte-se, no entanto, que isso não quer dizer que eles atribuam ao conceito de potencial elétrico significados cientificamente aceitos.

Nota-se também na tabela 2 que quatro estudantes, dos cinco que deram evidências do significado V_1 antes da instrução, o fizeram também após a mesma. De modo análogo, em relação ao significado V_2 : três estudantes, dentre quatro, o apresentaram novamente após a instrução. Assim sendo, em pelo menos sete estudantes houve uma notável estabilidade dos significados atribuídos ao conceito de potencial elétrico ao longo do curso.

DISCUSSÃO

Em relação ao conceito de campo elétrico, observou-se, de uma maneira geral, que alguns alunos o confundem com o de força elétrica, enquanto outros o imaginam como uma região do espaço em torno de uma carga elétrica. Tais significados foram, também de um modo geral, já detectados antes da instrução. Isso quer dizer que os alunos provavelmente os adquiriram em cursos de Física anteriores àquele no qual foi conduzida a investigação. Por outro lado, não é de surpreender o aparecimento de tais significados pois os

Tabela 2 - Diferentes significados atribuídos ao conceito de potencial elétrico antes e após a instrução

Estudante	V ₁		V ₂		V ₃		V ₄	
	antes	após	antes	após	antes	após	antes	após
01								
02			x	x				
03	x	x						
04	x							x
05	x	x						
06								
07					x			x
08		x						
09	x	x						
10					x			
11								
14			x					
15			x	x				
16			x	x				
17	x	x						
TOTAL	5	5	4	4	1	0	0	2

Um X indica que o aluno deu evidências de atribuir ao conceito de potencial elétrico o significado correspondente.

livros de texto geralmente definem o vetor campo elétrico como $\vec{E} = \vec{F}/q_0$ e dizem que o espaço em torno de um corpo carregado eletricamente é afetado pela presença do corpo e fala-se, então, de um campo elétrico nesse espaço.

É óbvio que bons livros de texto, embora definam campo elétrico em função de uma força, deixam claro que se trata da força exercida sobre uma carga de prova, que o campo é descrito por um vetor e que calcular campos é uma coisa, enquanto calcular forças exercidas por esses campos é outra. Deixam também claro que a região afetada pela presença do corpo, ou o campo por ele estabelecido, é, teoricamente, infinito. Ou seja, bons livros de texto apesar de usar tais recursos para definir campo, procuram não dar a idéia de que campo e força são o mesmo conceito nem que o campo de uma car-

ga é uma espécie de atmosfera que a circunda.

Muitos alunos, no entanto, talvez por já terem em sua estrutura cognitiva o conceito de força com um alto grau de estabilidade, tendem simplesmente a confundir campo elétrico com força elétrica em função de uma interação inicial e incompleta entre o conceito já existente e o novo.

No caso de campo como uma região do espaço, embora esse conceito venha a ser inicialmente reforçado pelo livro, é provável que a posterior diferenciação desse significado, através da resolução de problemas, por exemplo, leve o aluno a entender que não se trata de uma região finita, de uma "casca".

Examinemos a questão do ponto de vista da teoria de Ausubel (Ausubel et al., 1978; Novak, 1981; Moreira, 1983). Ele define aprendizagem significativa como aquela em que a nova informação adquire significados para o indivíduo através da interação com algum aspecto relevante da estrutura cognitiva preexistente; ao mesmo tempo, esse aspecto relevante pode adquirir novos significados e se tornar mais elaborado, mais diferenciado. Conceitos, idéias, proposições já existentes na estrutura cognitiva com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação são chamados de subsunçores. Assim, a nova informação pode adquirir significado por interação com um determinado subsunçor e ser por ele assimilada, modificando-o ao longo do processo de assimilação. Este tipo de aprendizagem é chamado por Ausubel de aprendizagem significativa subordinada. Quando a nova informação é percebida como uma mera ilustração, exemplo, confirmação do subsunçor, este pouco se modifica e a aprendizagem é dita derivativa. Quando o subsunçor se modifica substancialmente no processo, a aprendizagem é chamada correlativa. Por exemplo, quando a primeira lei da Termodinâmica é aprendida como um caso particular da lei de conservação da energia pode-se encarar essa aprendizagem como derivativa. Ou seja, a primeira lei adquire significado por interação com o subsunçor "conservação da energia", mas não o modifica substancialmente apenas o corrobora. Porém, quando o conceito de força nuclear adquire significado por interação com o subsunçor "força" que até então inclui somente as forças gravitacional e eletromagnética, a modificação é apreciável porque o subsunçor passa agora a incluir um novo tipo de força que é de curto alcance e tem características peculiares. Neste caso, temos um exemplo de aprendizagem subordinada correlativa.

Voltando aos resultados obtidos, é provável que a confusão entre força e campo decorra de uma aprendizagem subordinada derivativa do conceito de campo elétrico (nova informação) em relação ao subsunçor "força" (elétrica). Isto é, o novo conceito é percebido

como uma ilustração, um exemplo, uma corroboração do conceito já existente. Isso se explica facilmente, pois enquanto que o conceito intuitivo de força é formado ainda na infância, campo é um conceito altamente abstrato com o qual o indivíduo provavelmente terá contato somente na escola e em níveis adiantados. Então, é provável que ao se defrontar com o conceito de campo o aluno já tenha, com muita estabilidade e diferenciação, o conceito de força. Ora, se o novo conceito for definido como $\vec{E} = \vec{F}/q_0$ é possível que o aprendiz logo o relacione com o conceito de força e o veja como uma mera derivação desse conceito. Campo terá então adquirido significado para o aluno através de uma aprendizagem subordinada derivativa e, como tal, terá significado muito similar, se não igual, ao de força. Se assim for, a instrução subsequente terá que ser planejada explicitamente para diferenciar os significados de força e campo.

No caso em pauta, observou-se em quatro alunos a manutenção da identidade de significados entre força e campo, o que quer dizer que a instrução não foi capaz de levar o aluno à diferenciação conceitual. Na verdade, não é de surpreender que isso tenha ocorrido pois a instrução foi planejada ignorando a possibilidade de que campo já tivesse para os alunos o significado de força.

Por outro lado, em relação ao significado de campo como uma região em torno da carga notou-se que nenhum aluno externalizou este significado após a instrução, enquanto três o haviam feito anteriormente a ela. Nesse caso, aparentemente, a instrução mesmo sem ter sido planejada para tal finalidade foi capaz de mostrar ao aluno que esse significado era errôneo do ponto de vista científico e levou-o a substituí-lo por outros significados.

No que se refere ao conceito de potencial elétrico, observou-se, além de uma grande estabilidade de significados ao longo do curso, que antes da instrução um aluno o identificou com o conceito de energia potencial e após a instrução dois estudantes o confundiram com o conceito de trabalho. Tais observações podem também ser explicadas em termos de aprendizagem significativa subordinada derivativa. No primeiro caso, provavelmente a palavra "potencial", foi responsável pela atribuição do significado de energia potencial ao conceito de potencial elétrico. No segundo, a própria definição de potencial elétrico: a maioria dos livros de textos define, inicialmente, diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um campo elétrico a partir do trabalho que um agente externo deve fazer para deslocar uma carga de prova de um ponto a outro. Então, supondo um dos pontos no infinito e arbitrando como zero o seu potencial elétrico, chegam ao conceito de potencial elétrico em um ponto como sendo o trabalho necessário para trazer uma carga de

prova desde o infinito até esse ponto. Ora, trabalho é um conceito que o aluno provavelmente já tem em sua estrutura cognitiva pois trata-se de um conceito usualmente explorado, por professores e livros de texto, no estudo da Mecânica. Então, ao receber a definição de potencial em termos de trabalho o aluno pode, simplesmente, encará-lo como uma derivação desse conceito e atribuir-lhe um significado praticamente igual. Ou seja, trabalho funciona como subsunçor, assimila o conceito de potencial elétrico e pouco, ou nada, se modifica no processo.

Na verdade, é provável que outros alunos tenham atribuído ao conceito de potencial elétrico o significado de trabalho sem que tenham dado evidências disso nas entrevistas porque a situação proposta não era favorável a isso.

Quanto à acentuada permanência dos significados atribuídos a ambos os conceitos envolvidos neste estudo, comparando antes e após a instrução, pode-se interpretá-la como sendo uma consequência, até certo ponto natural, da instrução, visto que não foi planejada para promover explicitamente a diferenciação ou a integração conceitual quando necessárias.

CONCLUSÃO

Na investigação relatada neste trabalho procurou-se detectar, através de entrevistas clínicas, significados atribuídos por estudantes de engenharia, em um curso introdutório de Eletricidade e Magnetismo, aos conceitos de campo elétrico e potencial elétrico.

Os resultados obtidos foram interpretados à luz da teoria de aprendizagem de David Ausubel sugerindo que os alunos tendem a atribuir significados a novos conceitos, como campo elétrico e potencial elétrico, fazendo uso de conceitos já estáveis e diferenciados existentes em suas estruturas cognitivas (i.e., conceitos subsunçores) como, por exemplo, força e trabalho. Pode então ocorrer, dependendo da maneira como o novo conceito é introduzido, que o estudante o aprenda (significativamente) como uma mera derivação do conceito subsunçor e lhe atribua praticamente o(s) mesmo(s) significado(s). É o que parece ter ocorrido com os conceitos de campo elétrico e força, mesmo antes da instrução, e talvez com os conceitos de potencial elétrico e trabalho, após a instrução. E a causa disso pode ter sido a maneira de introduzir esses conceitos, a qual foi, respectivamente, em termos de força e trabalho.

É claro que se pode argumentar que é praticamente inevitável relacionar campo elétrico com força, porque o campo elétrico é um campo de forças e que, afinal, tais campos são construtos mate-

máticos que nunca são medidos; o que se mede são seus efeitos, i. e., forças. Na mesma linha de raciocínio pode-se também argumentar quanto ao relacionamento entre potencial elétrico e trabalho e energia potencial.

A questão, todavia, não é quanto ao relacionamento entre conceitos. É óbvio que o relacionamento é fundamental para a aprendizagem e deve ser buscado explicitamente na instrução, mas ao lado do relacionamento deve-se também buscar a diferenciação conceitual. Na medida em que o relacionamento for muito grande, a diferenciação pode ser nula, i. e., os conceitos passam a significar a mesma coisa para o aluno. Reciprocamente, na medida em que a diferenciação for excessiva o relacionamento pode ser nulo, i. e., os conceitos parecem não ter relação nenhuma.

O que se deve fazer, então, do ponto de vista instrucional é procurar um equilíbrio entre o relacionamento e a diferenciação. Para aprender um corpo de conhecimento o aluno precisa, ao mesmo tempo, relacionar e diferenciar as idéias e conceitos básicos desse corpo de conhecimento. A instrução deve ser planejada para facilitar isso.

No caso em pauta, como força é um subsunçor muito estável, arraigado, diferenciado, a fim de evitar-se um relacionamento imediato que iniba a diferenciação, o conceito de campo elétrico deveria talvez ser introduzido a partir do conceito mais geral de campo e este a partir da idéia de variação suave de uma quantidade física, de ponto para ponto, no espaço. Mostrando-se que esta quantidade física pode ser escalar ou vetorial chegar-se-ia aos conceitos de campo escalar e campo vetorial. Dentre os campos vetoriais há os campos de forças e dentre esses o campo elétrico.

O conceito de função ou, mais especificamente, o conceito de função de ponto, escalar ou vetorial, é provavelmente muito mais importante para a aprendizagem dos conceitos de campo e potencial do que os conceitos de força e trabalho. Na prática, no entanto, o que se observa é a sumária definição desses conceitos em termos de força e trabalho, respectivamente. Em consequência, é provável que muitos alunos atribuam a campo o mesmo significado de força e a potencial o mesmo de trabalho. A presente investigação forneceu algumas evidências nesse sentido, mas a instrução em Física deve estar cheia de exemplos similares. Chamar atenção para isso é o maior valor que pretendem os autores neste trabalho.

REFERÊNCIAS E NOTAS

- (1) Ausubel, D. P., Novak, J. D. and Hanesian, H. Educational psy-

- chology: a cognitive view, New York, Holt, Rinehart and Winston, 1978.
- (2) Closset, J. L. Le raisonnement sequentiel en electrocinétique. Thèse de troisième cycle. Paris, Université Paris VII.
 - (3) Cohen, R., Eylon, B. and Ganiel, U. Potential difference and current in simple circuits: a study of student's concepts. American Journal of Physics, 50 (5): 407-12, 1983.
 - (4) Domínguez, M. E. Detecção de alguns conceitos intuitivos em electricidade através de entrevistas clínicas. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, Instituto de Física da UFRGS, 1985.
 - (5) Domínguez, M. E. e Moreira, M. A. Detección de conceptos espontáneos en electricidad a través de entrevistas clínicas. A ser publicado na Revista Enseñanza de la Física (Argentina), 1986.
 - (6) Evans, J. Teaching electricity with batteries and bulbs. The Physics Teacher, 16 (1): 15-22, 1978.
 - (7) Fredette, N. and Lochhead, J. Student conceptions of simple circuits. The Physics Teacher, 18 (3): 194-98, 1980.
 - (8) Halliday, D. and Resnick, R. Fundamentals of Physics, New York: John Wiley & Sons, 1974.
 - (9) Keller, F. S. Adeus mestre! Ciência e Cultura, 24 (3): 207-17, 1972.
 - (10) McDermott, L. C. Research on conceptual understanding in mechanics. Physics Today, 37 (): 24-32, 1984.
 - (11) Moreira, M. A. O uso do Sistema de Instrução Personalizada (SIP) em um curso universitário básico de Física durante sete semestres consecutivos. Revista Brasileira de Física, 7 (3): 711-735, 1977.
 - (12) Moreira, M. A. Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física. Porto Alegre, Editora da Universidade, 1983.
 - (13) Moreira, M. A. and Domínguez, M. E. Misconceptions in electricity among college students. Unpublished manuscript, 1987.
 - (14) Novak, J. D. Uma teoria de educação. São Paulo, Pioneira, 1981.
 - (15) Osborne, R. J. and Gilbert, J. 1980. A method for investigating concept understanding in science. European Journal of Science Education, 2 (3): 311-21, 1980.
 - (16) Pines, A. L., Novak, J. D., Posner, G. and Van Kirk, J. The clinical interview: a method for investigating cognitive structure. Ithaca, N. Y., Cornell University, Department of Education, Curriculum Series No. 6, 1978.