



HISTÓRIA DA CIÊNCIA E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: O EXPERIMENTO DE COULOMB

HISTORY OF SCIENCE AND MEANINGFUL LEARNING: THE COULOMB'S EXPERIMENT

Sergio Luiz Bragatto Boss¹

Moacir Pereira de Souza Filho², João José Caluzi³

¹UNESP-Bauru/Faculdade de Ciências/ Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência,
serginho@fc.unesp.br

²UNESP-Bauru/Faculdade de Ciências/ Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência,
moacir@fc.unesp.br

³UNESP-Bauru/Faculdade de Ciências/Departamento de Física/ Programa de Pós-Graduação em Educação
para a Ciência, caluzi@fc.unesp.br

Resumo

O presente artigo apresenta uma discussão sobre a inserção de um texto histórico (*fonte primária*) de Física – *Primeira Memória de Charles A. Coulomb* – em um curso de graduação em Licenciatura em Física. O trabalho visa analisar se discussões de textos históricos, em sala de aula, podem fornecer subsunçores para os alunos. Este trabalho é uma análise preliminar de parte dos dados coletados para uma pesquisa. Foram aplicados textos históricos junto aos graduandos antes de o professor ministrar o conteúdo específico, e os dados foram coletados em dois momentos distintos, por meio de questionários. Fundamentamos nosso trabalho na *Teoria da Aprendizagem Significativa* de David Ausubel. Os dados nos permitem inferir que, após a atividade com o texto histórico, os alunos passaram a ter disponível, em sua estrutura cognitiva, alguns subsunçores importantes para a aprendizagem significativa do conceito de *lei de Coulomb*.

Palavras-chave: Ensino de Física. Aprendizagem Significativa. História da Ciência. Lei de Coulomb.

Abstract

This paper presents a discussion about the insert of a historical text (*primary source*) of Physics – *First Memory of Charles A. Coulomb* – in a Physics's course. The work analyzes if discussions of historical texts, in classroom, can supply subsumers to the students. This work is a preliminary analysis of part of the data collected for a research. It was applied historical texts to the students before the Professor to supply the specific content, and the data were collected in two different moments, through questionnaires. We based our work in the Theory of David Ausubel's Meaningful Learning. The analysis of the data allows to infer that after the activities with the texts of History of the Science the students pass to have available, in their cognitive structure, some important subsumers for the Meaningful Learning of the concept of law's Coulomb.

Keywords: Physic's Education. Meaningful Learning. History of Science. Law's Coulomb.

INTRODUÇÃO

Não é de hoje que a inserção da História da Ciência no Ensino de Ciências tem sido alvo de discussões e de pesquisas, as quais têm ressaltado algumas contribuições que esta união pode trazer para o processo ensino-aprendizagem. Neste trabalho, discutiremos uma possível contribuição da História da Ciência para o aprendizado de conceitos científicos de Física. Fazemos aqui uma análise preliminar de parte dos dados referentes a uma pesquisa que tem como principal objetivo verificar se a discussão de *fontes primárias* em sala de aula pode fornecer *subsunçores* aos graduandos. A coleta de dados foi realizada em uma turma de licenciandos em Física de uma Universidade Estadual do interior do Estado de São Paulo. A pesquisa é fundamentada na *Teoria da Aprendizagem Significativa* de David Ausubel.

Qualquer professor de Física, seja ele docente de Ensino Médio ou Superior, percebe que os alunos apresentam dificuldades para aprender os conceitos ministrados. Tais dificuldades têm sido descritas por pesquisas recentes. Desta forma, destacamos dois equívocos referentes ao ensino de Física, os quais nós entendemos serem de suma importância para o insucesso do processo ensino-aprendizagem dos conceitos científicos. O primeiro deles é a *banalização* dos conceitos, e o segundo é a metodologia utilizada para ministrá-los.

Tal como menciona Dias (2001, p. 226-7), a Física não é *trivial* em sua essência, no entanto, o uso dos conceitos ao longo do tempo tende a "*trivializar*" o que não é fácil e traz a falsa sensação de que os conceitos são "*óbvios*". Quando a Física é encarada como uma disciplina de fácil entendimento, desprezam-se muitas dificuldades intrínsecas a sua compreensão, e em muito se prejudica a aprendizagem dos alunos. A apreensão dos conceitos físicos é bastante laboriosa e não pode ser tratada com algo corriqueiro.

O segundo ponto a ser destacado, refere-se à forma como a Física tem sido "*ensinada*", ou melhor, como seus conteúdos têm sido ministrados. Para ilustrar isso mencionaremos um trecho dos *Parâmetros Curriculares Nacionais* (PCNs):

O ensino de Física tem-se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. (BRASIL, 2000, p. 22).

Dentre os vários equívocos que, em nosso ponto de vista, são cometidos ao se "ensinar" Física, discutiremos aqui apenas esses dois. Defendemos que por meio da utilização da História da Física é possível evidenciar que os conceitos não são *óbvios* e, desta forma, ensiná-los de forma *não-mecânica*, prezando pela compreensão conceitual e

pela aprendizagem significativa. A inserção da História da Ciência no Ensino de Ciências justifica-se por várias razões e objetivos. Dentre eles, destacamos a sua utilização para auxiliar na compreensão dos conceitos científicos, como evidencia Matthews (1994, p. 50).

Entendemos que a História da Ciência e a Teoria da Aprendizagem Significativa, quando aliadas, podem contribuir para melhorar a compreensão do conteúdo específico. Superando, desta forma, a aquisição mecânica de “*fórmulas*”, *equações* e *expressões matemáticas* que, muitas vezes, os alunos decoram e utilizam sem compreender o seu significado real (VANNUCCHI, 1996, p. 19). Por meio do estudo histórico é possível fazer a análise conceitual; é possível evidenciar como se deu a enunciação de um conceito, conhecendo as perguntas que foram respondidas pelo seu surgimento e as questões e os problemas que o originaram; é possível entender, ainda, a função do conceito dentro de uma dada teoria (DIAS, 2001, p. 226-7; DIAS; SANTOS, 2003, p. 1616). Estes são alguns dos elementos que julgamos importantes quando buscamos a aprendizagem significativa.

Segundo Villani e colaboradores (1997, p. 44), para tornar algumas teorias inteligíveis para os alunos de graduação (*e.g.*, a Teoria da Relatividade, Mecânica Quântica, etc.) é necessário complementar e enriquecer os processos atuais de ensino, indo além dos aspectos experimentais e matemáticos. O trabalho de Villani sugere que isto pode ser feito por meio da inserção da História da Ciência nas aulas. Martins (1988) apresenta um exemplo bastante interessante de como o conhecimento histórico pode contribuir para o esclarecimento conceitual do fenômeno da produção de campo magnético em torno de um fio percorrido por uma corrente elétrica. Traçaremos, neste trabalho, algumas considerações sobre como a discussão de um texto histórico, de fonte primária, em sala de aula pode auxiliar a compreensão do conceito de *lei de Coulomb*. Em nossa pesquisa trabalhamos com os textos originais sob a perspectiva da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, sendo que eles são considerados *fornecedores de subsunçores*, os quais podem subsidiar a aprendizagem significativa.

ALGUNS ASPECTOS DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

O referencial teórico do presente estudo é a *Teoria da Aprendizagem Significativa* de David Ausubel. É importante destacar, inicialmente, que devido aos limites do presente texto pontuar-se-á apenas aspectos essenciais desta teoria, necessários para analisar e discutir os dados apresentados aqui.

“A aprendizagem significativa envolve a aquisição de novos significados e os novos significados, por sua vez, são produtos da aprendizagem significativa.” Esta aprendizagem ocorre na medida em que uma determinada idéia, ao ser aprendida, relaciona-se de forma *não-arbitrária e não-litera* a alguns conhecimentos relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. (AUSUBEL *et al.*, 1980, p. 34; AUSUBEL, 1968, p. 38-9)¹. Os conhecimentos relevantes da estrutura cognitiva, que servem de ancoradouro para a nova informação, são denominados *subsunçores*. Sendo assim, quando o aluno se depara com um material de aprendizagem (*e.g.*, conteúdo ministrado), para assimilá-lo significativamente é necessário que ele tenha subsunçores disponíveis em sua estrutura cognitiva. Caso não haja subsunçores para o material de aprendizagem se apoiar, não será

¹ A referência (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980) será referida neste trabalho como (AUSUBEL *et al.*, 1980).

possível a aprendizagem significativa. Um exemplo disso é a memorização automática de definições, conceitos ou proposições.

Por exemplo, um aluno pode aprender a *lei de Ohm*, que afirma que a diferença de potencial (voltagem) é diretamente proporcional a corrente elétrica em um circuito². Entretanto, para que essa proposição seja aprendida significativamente o estudante precisa ter o significado dos conceitos de *corrente elétrica*, *diferença de potencial*, *resistência elétrica* e das *relações de proporcionalidade* em sua estrutura de conhecimentos, caso contrário será possível apenas a *aprendizagem mecânica* (memorização) do conteúdo. Além disso, é preciso que o aluno esteja disposto a aprender e busque relacionar tais conceitos tal como estão expressos na lei de Ohm. (AUSUBEL *et al.*, 1980, p. 35).

A teoria de Ausubel ressalta a importância das *tarefas de ensino*, às quais é conferido um *potencial significativo*. Há dois fatores que determinam o potencial significativo da tarefa de ensino: i) *a natureza do assunto*, que deve ser suficientemente não-arbitrário e não-aleatório, permitindo, desta forma, que ele estabeleça uma relação não-arbitrária e não-literal com informações correspondentemente relevantes localizadas no domínio da capacidade intelectual humana; ii) *a estrutura cognitiva de cada aluno*, pois a aquisição de significados se dá em cada indivíduo, e desta forma, não é suficiente que o conteúdo ministrado seja somente relacionável a idéias relevantes que a maioria dos seres humanos pode adquirir, é preciso que cada aprendiz tenha estas idéias relevantes em sua estrutura cognitiva. (AUSUBEL *et al.*, 1980, p.36-7).

É importante destacar que no processo de aprendizagem significativa a relação, não-arbitrária e não-literal, que ocorre entre os subsunçores e novo conteúdo não é uma mera conexão, é algo mais “forte”, sendo que, tanto a nova informação quanto aquela que o aluno já possui se modificam no processo de aprendizagem. (AUSUBEL *et al.*, 1980, p. 48; MOREIRA; MASINI, 1982, p.13).

A Teoria define algumas formas de aprendizagem significativa: i) na aprendizagem *subordinativa derivativa*, o novo conteúdo (*a*) é ligado a uma idéia mais geral (*A*) da estrutura cognitiva e representa um exemplo ou extensão de (*A*), nesta relação, os atributos essenciais do conceito (*A*) não sofrem alterações; ii) na aprendizagem *subordinativa correlativa*, o novo conteúdo (*a*) é ligado à idéia (*A*), mas agora ele é uma extensão, modificação ou qualificação de (*A*), nesta interação os atributos essenciais do conceito subordinado (*A*) podem ser ampliados ou modificados; iii) na *aprendizagem superordenada*, as idéias (*a*₁), (*a*₂) e (*a*₃) da estrutura cognitiva são consideradas exemplos mais específicos do novo conteúdo (*A*) e passam a associar-se a ele, aqui, a idéia superordenada (*A*) passa a ser definida por um novo conjunto de atributos essenciais que abrange as idéias subordinativas; iv) na *aprendizagem combinatória*, o novo conteúdo (*A*) é relacionável às idéias existentes (*B*), (*C*) e (*D*), mas não é nem mais abrangente e nem mais específico do que elas, aqui, o novo conteúdo (*A*) tem alguns atributos essenciais em comum com as idéias preexistentes. (AUSUBEL *et al.*, 1980, p. 57; AUSUBEL, 2003, p. 111). O resultado da interação entre o novo conteúdo potencialmente significativo e uma idéia presente na estrutura cognitiva é denominado *assimilação*, o que origina uma

² $V = iR$ - É importante ressaltar que esta equação define a resistência *R* para qualquer condutor que obedeça ou não à lei de Ohm, entretanto, ela só pode ser chamada de lei de Ohm quando *R* é constante, *i.e.*, a lei de Ohm expressa uma proporcionalidade direta (para alguns materiais) entre diferença de potencial (*V*) e a corrente elétrica (*i*) (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p. 139).

estrutura mais diferenciada, sendo que boa parte da aprendizagem significativa é fundamentalmente a assimilação dos novos conteúdos (AUSUBEL *et al.*, 1980, p. 57-8).

Uma vez que a presença de subsunçores na estrutura cognitiva é uma condição *sine qua non* para a aprendizagem significativa, a Teoria de Ausubel propõe uma estratégia para facilitar esta aprendizagem. A estratégia consiste na utilização de *materiais introdutórios* adequados, claros e estáveis denominados *organizadores prévios*. Estes são ministrados antes do conteúdo de aprendizagem. O objetivo é fornecer subsunçores relevantes e aumentar a discriminação entre aquilo que o aluno já sabe e o conteúdo a ser aprendido. (AUSUBEL *et al.*, 1980, p. 143; AUSUBEL, 2003, p. 66; MOREIRA; MASINI, 1982, p. 11). Os organizadores prévios devem ser apresentados em um nível de abstração mais elevado, de maior generalidade e inclusão do que o material a ser aprendido (AUSUBEL *et al.*, 1980, p. 143; AUSUBEL, 2003, p. 66).

Há algumas razões pelas quais se justifica a utilização de organizadores prévios: i) a importância de se ter idéias relevantes e apropriadas disponíveis na estrutura cognitiva, para a aprendizagem significativa; ii) as vantagens de utilizar conceitos mais gerais e inclusivos de uma disciplina como idéias de esteio ou subordinadores³; iii) os próprios organizadores prévios tentam tanto identificar um conteúdo relevante já existente na estrutura cognitiva (e a ser relacionado com ele), como indicar a relevância deste conteúdo e sua própria relevância para o material de aprendizagem. (AUSUBEL *et al.*, 1980, p. 144).

Com isso, a principal função dos organizadores prévios é superar o limite entre o que o aluno já sabe e aquilo que ele deverá aprender – são úteis na medida em que funcionam como *pontes cognitivas*. Eles “*permitem prover uma moldura ideacional para incorporação e retenção do material mais detalhado e diferenciado que se segue na aprendizagem*”. (MOREIRA, 1999, p. 155; MOREIRA; MASINI, 1982, p. 12).

Sendo assim, entendemos que textos históricos podem ser utilizados para fornecer, aos aprendizes, conhecimentos relevantes que subsidiem a aprendizagem significativa dos conceitos. Neste trabalho, apresentamos uma proposta de discussão de *fontes primárias* em sala de aula, que foi feita com base em algumas características dos organizadores prévios. Entretanto, nossa proposta não é um organizador prévio legítimo, pois não possui todos os seus elementos e características essenciais. Discutimos textos históricos em sala de aula, com licenciandos em Física, antes de o conteúdo específico ser ministrado pelo professor da disciplina, buscando *fornecer subsunçores* para a posterior aprendizagem significativa. Intentamos que os alunos adquirissem tanto conhecimentos *mais gerais* quanto conhecimentos *mais diferenciados* do que o conteúdo específico a ser ministrado posteriormente. O objetivo deste trabalho é verificar se houve a aquisição de subsunçores, pelos aprendizes, para a aprendizagem do conceito de *força elétrica* (lei de Coulomb).

³ Isto se dá porque Ausubel assume que o sistema psicológico humano (mecanismo de transformação e armazenamento de informações) se organiza de forma hierárquica, tal como uma pirâmide, em que os conceitos mais inclusivos, mais gerais e mais abstratos ocupam uma posição no topo da pirâmide e subsumem, de forma progressiva e descendente, as idéias mais diferenciadas. (AUSUBEL, 2003, p. 44).

METODOLOGIA

Em função dos limites do presente artigo, apresentaremos a discussão de *parte* dos dados coletados para a pesquisa, sendo assim, apresentaremos aqui uma discussão *preliminar*. A coleta de dados foi realizada em duas etapas. Na primeira, realizada no primeiro dia de aula do semestre, foi aplicado um questionário com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios e os subsunçores dos alunos sobre parte do conteúdo de eletrostática. Na segunda, realizada alguns dias depois da discussão da *Primeira Memória de Coulomb*, foi aplicado um questionário com o objetivo de identificar os conhecimentos adquiridos pelos alunos sobre o conteúdo histórico discutido. Estas etapas ocorreram no mês de março de 2008.

O texto de Coulomb foi discutido na íntegra com os graduandos. A tradução foi feita pelos autores deste trabalho a partir do texto original em francês. Para trabalhar o texto em sala de aula foi solicitado a alguns alunos que fizessem a leitura dele em voz alta, de forma que cada aluno lesse um parágrafo. Então, a cada parágrafo era feita uma discussão sobre aquilo que estava sendo lido. Os pesquisadores procuravam sempre fazer perguntas aos alunos de forma que por meio das respostas se estabelecesse uma discussão sobre o texto. Quando necessário, os pesquisadores procuravam explicitar e detalhar melhor o seu conteúdo. Para facilitar o entendimento do aparato e do procedimento experimental utilizado por Coulomb, a figura da balança de torção foi projetada por meio de projetor multimídia. Com isso, a leitura e discussão do texto foram feitas apoiadas na figura. É importante destacar que, entender o aparato e o procedimento experimental, presentes no texto, é uma tarefa bastante laboriosa.

Os dados – respostas dos graduandos – foram categorizados e apresentados em tabelas na seção “*Dados*” deste artigo. Os questionários constituíam-se apenas de questões abertas. O tratamento e a análise dos dados foram feitos com base na *Análise de Conteúdo* (BARDIN, 1977). Segundo Bardin (1977, p. 42), a análise de conteúdo pode ser definida como um conjunto de técnicas de análise das comunicações, que visa obter, por meio de conhecimentos sistemáticos e objetivos de descrição de conteúdo (*e.g.*, textos), indicadores (quantitativos ou não) que permitem inferir conhecimentos relativos às condições de produção/recepção dos textos – que neste trabalho provém das questões analisadas. A análise dos dados é o processo que busca a organização e transcrição dos materiais acumulados na pesquisa (*e.g.*, questionários), com o objetivo de aumentar a compreensão destes materiais e permitir sua divulgação. Nesta etapa, trabalha-se com os dados, buscando sua organização, a divisão em atividades manipuláveis, a síntese, a procura de padrões, a descoberta dos aspectos importantes, e o que deve ser divulgado. (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 205). É importante ressaltar que os dados apresentados neste artigo são apenas parte dos questionários mencionados anteriormente, uma vez que os dois questionários, na íntegra, constituem os dados da pesquisa.

DADOS

Como já dissemos, neste artigo estamos trabalhando especificamente com o conceito de *força elétrica*. Desta forma, utilizamos apenas duas questões do questionário aplicado na primeira etapa e uma questão do questionário aplicado na segunda etapa. Os resultados obtidos com estas três questões são apresentados nas *Tabelas 01, 02, 03 e 04*, nas quais são indicadas as categorias e as porcentagens de graduandos que expressaram tais categorias em suas respostas. É importante destacar que a soma das porcentagens expostas nas tabelas

pode passar de 100% porque há respostas que contêm mais de uma categoria. Também vale destacar que em algumas tabelas consta a categoria *não atingiu o objetivo*. Nesta categoria enquadram-se respostas em que não foi possível compreender aquilo que o aluno queria dizer, respostas que estavam fora do assunto perguntado ou muito genéricas.

Etapa 01 – Levantamento dos Conhecimentos Prévios dos alunos

Esta etapa foi realizada no primeiro dia de aula, antes de o professor da disciplina *Física Geral III* iniciar suas aulas. Este questionário tinha 19 questões que versavam sobre os temas: carga elétrica, eletrização, *lei de Coulomb*, campo elétrico e lei Gauss. As 19 questões eram *conceituais*, não sendo nenhuma numérica. O questionário foi respondido por 33 graduandos. Apresentamos aqui duas questões, as quais buscavam aferir os conhecimentos prévios dos alunos referentes à lei de Coulomb.

Questão 01: Sejam duas cargas q e Q ambas positivas, $Q > q$, situadas em dois pontos A e B separados por uma distância r . A força que a carga q exerce sobre Q é maior, menor ou igual à força de Q sobre q ? Justifique sua resposta.⁴

Tabela 1 – Respostas à Questão 01

RESPOSTAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Maior ⁵	12%
2. Menor ⁶	30,3%
3. Igual ⁷	30,3%
4. Não respondeu a questão	27,3%

A *Tabela 1* mostra que aproximadamente 42% dos alunos (*categorias 1 e 2*) entendiam que uma carga exerce força diferente sobre a outra. Aproximadamente 27% dos alunos não responderam a questão. Cerca de 30% dos alunos responderam corretamente a pergunta, no entanto, nenhum dos quatro alunos que justificaram a resposta fez qualquer menção à lei de Coulomb. Esta questão nos chamou a atenção pelo número de graduandos que não a respondeu e pelo número pequeno de alunos que justificaram a resposta.

Questão 02: Duas bolinhas de material isolante carregadas eletricamente têm a mesma *massa* (m) e estão suspensas por um fio também isolante, uma ao lado da outra. A carga de uma bolinha é o dobro da outra. Escolha o diagrama apropriado para mostrar o deslocamento angular relativo das bolinhas. Justifique sua resposta.⁸

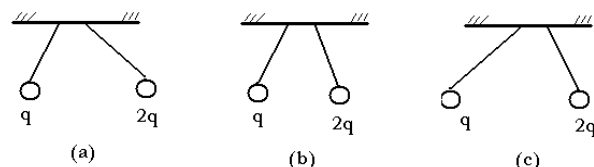
⁴ Questão retirada de (FURIÓ; GUIASOLA, 1999, p. 445 *apud* SOLBES; MARTÍN, 1991).

⁵ Nenhum dos alunos justificou a resposta.

⁶ Dos 10 alunos que se enquadram nesta categoria, sete deles não justificaram suas respostas, dois alunos disseram que a força elétrica é diretamente proporcional a q , e um deles disse que é menor porque q tem menor carga elétrica.

⁷ Dos 10 alunos que se enquadram nesta categoria, seis deles não justificaram suas respostas, três disseram que as forças geradas por Q e q são iguais, e um deles disse que é “um par de ação e reação”.

⁸ Questão retirada de (FURIÓ; GUIASOLA, 1999, p. 442 *apud* GALILI, 1995).



Diagramas da Questão 02

Tabela 2 – Respostas à Questão 02⁹

RESPOSTAS (Alternativas)	JUSTIFICATIVAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS ¹⁰
1. (a) (12,1%)	1.1. Quanto maior a carga maior a repulsão	6,1 %
	1.2. Não justificou	6,1 %
2. (b) (42,4%)	2.1. Massas iguais	27,3 %
	2.2. Mesma força de repulsão	12,1 %
	2.3. A carga não influencia no equilíbrio	6,1 %
	2.4. Não atingiu o objetivo	6,1 %
3. (c) (45,5%)	3.1. $2q$ é maior do que q	21,2 %
	3.2. A força de $2q$ sobre q é maior	30,3 %
	3.3. $2q$ tem maior campo eletromagnético	3 %
	3.4. Força é proporcional à carga	3 %
	3.5. Carga menor se locomove mais facilmente	3 %
	3.6. Não justificou	3 %
	3.7. Não atingiu o objetivo	6,1 %

A Tabela 2 também mostra que a maioria dos alunos, aproximadamente 58% (categorias 1 e 3), entendia que uma carga exerce força diferente sobre a outra. O mesmo foi evidenciado pela Questão 01. Aproximadamente 42% dos alunos responderam corretamente a questão, no entanto, a maioria deles atribui a simetria apenas ao fato de as massas serem iguais. Quase 12% justificaram com o argumento de que a força de repulsão é igual, entretanto, nada mencionaram sobre a lei de Coulomb. Para 6% dos alunos a carga não influencia no equilíbrio.

As Questões 1 e 2 mostram que para a maioria dos alunos a força elétrica que uma carga exerce sobre a outra é diferente. Desta maioria, grande parte justificou a diferença das forças com base no fato de as cargas serem diferentes. É importante destacar que este conteúdo faz parte dos conteúdos do terceiro ano do Ensino Médio.

Etapa 02 – Levantamento dos conhecimentos adquiridos com as discussões sobre o texto histórico referente à força elétrica

A segunda etapa da coleta de dados foi realizada alguns dias após a aplicação do texto histórico. Este questionário tinha onze questões, das quais os alunos deveriam

⁹ A soma das porcentagens das categorias (justificativas) pode ser maior do que a porcentagem de alunos que responderam as alternativas (a), (b) ou (c), porque há respostas que se enquadram em mais de uma categoria.

¹⁰ Porcentagem em relação ao total de alunos (33).

escolher cinco para responderem. Apresentamos aqui duas dessas questões, sendo que as outras versavam sobre outros quatro textos históricos – também traduções – que foram discutidos no primeiro mês de aula. O questionário foi respondido por 33 graduandos. As duas questões foram respondidas pelos mesmos alunos, pois a escolha de uma implicava, obrigatoriamente, na escolha da outra.

Questão 03:

a) Tendo em vista a *Figura 01*, descreva o aparato experimental.¹¹

Tabela 3 – Respostas à Questão 03a¹²

DESCRIÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Descreveu satisfatoriamente	50%
2. Descreveu parcialmente	25%
3. Não descreveu	25%

Solicitamos que os alunos descrevessem o aparato experimental porque isso nos auxilia a entender as respostas à questão seguinte. Metade dos alunos que respondeu esta questão descreveu satisfatoriamente o aparato, 25% descreveram parcialmente, e outros 25% não descreveram.

b) Descreva o procedimento experimental que Charles Augustin Coulomb utilizou para realizar medidas e propor a lei de força elétrica. Qual a lei proposta por Coulomb?

Tabela 4 – Respostas à Questão 03b

DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Descreveu satisfatoriamente	66,7%
2. Descreveu parcialmente	25%
3. Não descreveu	8,3%
SOBRE A LEI PROPOSTA	
4. Expressou corretamente	83,4%
5. Expressou de forma equivocada	8,3%
6. Não respondeu	8,3%

A maioria dos alunos (67%) descreveu o procedimento experimental corretamente. Já 25% descreveram de forma parcial, isto é, não mencionaram algum elemento importante do procedimento. Aproximadamente 8,3% não responderam. Quase 84% dos alunos expressaram de forma correta a lei proposta por Coulomb na sua *Primeira Memória*.

¹¹ A *Figura 1* é a balança de torção utilizada por Coulomb em seus experimentos sobre força elétrica. A *Figura 1* não foi inserida neste trabalho porque não havia espaço suficiente para isso.

¹² Dos 33 graduandos, 12 optaram por responder esta questão.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Antes de iniciar as discussões sobre os *dados* é importante destacar alguns pontos do trabalho de Coulomb e do nosso trabalho com este tema. Coulomb discute o tema *força elétrica* nas suas duas primeiras *Memórias* - na *Primeira Memória* (COULOMB, 1785a) inteira e no início da *Segunda Memória* (COULOMB, 1785b). É importante destacar que na Primeira Memória Coulomb utiliza uma *balança de torção*, cuja figura está presente em inúmeros Livros Didáticos, para estudar a interação entre cargas elétricas. Neste trabalho, ele discute apenas sobre a interação repulsiva dos corpos, e conclui, somente, que a força de interação elétrica entre duas esferas eletricamente carregadas, com eletrificadas de mesma natureza, é proporcional ao inverso do quadrado da distância entre elas. Na *Segunda Memória*, Coulomb estuda a interação atrativa entre dois corpos carregados, com eletrificadas de naturezas distintas. Mas para isso ele utiliza um *pêndulo de torção*, tendo em vista a dificuldade de realizar tal experimento com uma balança de torção. Apenas neste segundo trabalho Coulomb sugere que a força elétrica é proporcional ao produto da *massa elétrica* de cada esfera. Note que não se falava em carga elétrica, mas em massa elétrica.

Em nossa pesquisa, aplicamos apenas a tradução do primeiro texto de Coulomb. No entanto, antes e após a discussão desse texto de fonte primária foram trabalhados alguns textos de fonte secundária com os graduandos. Inicialmente, discutimos sobre trabalhos anteriores à Coulomb, *e.g.*, *Joseph Priestley* e *Henry Cavendish*. Em seguida, discutimos a tradução. Posteriormente, discutimos alguns trabalhos que questionam o fato de Coulomb ter concluído que a força é *inversamente proporcional ao quadrado da distância* com apenas três medidas. Discutiu-se, ainda, as tentativas de reprodução da balança de torção de Coulomb e os problemas encontrados, o conteúdo da Segunda Memória, e a possível influência da teoria de Isaac Newton sobre a proposição de que a força elétrica é proporcional ao produto das *massas elétricas*. Com isso, nosso objetivo era tentar fornecer aos licenciandos não apenas conhecimentos relevantes para poder aprender significativamente o conceito de força elétrica, mas também apresentar uma visão mais ampla sobre as discussões que cercam a proposição dessa lei. Os limites do presente trabalho nos impedem de qualquer aprofundamento nas questões mencionadas.

Apontaremos, nesta seção, apenas algumas considerações sobre os resultados encontrados, uma vez que se trata de uma análise preliminar. Os dados referentes à avaliação de conhecimentos prévios dos graduandos mostraram que a maioria deles não tinha conhecimento sobre a lei de força elétrica ou, que não conseguiu associar este conceito às situações propostas. Podemos verificar isso por meio das *Questões 1 e 2 - Tabelas 1 e 2*. Sendo assim, a discussão sobre o texto traduzido de Coulomb foi realizada com o intuito de fornecer alguns conhecimentos relevantes aos alunos, tendo em vista a posterior aprendizagem significativa do conceito. A Primeira Memória apresenta a forma como Coulomb construiu a balança de torção, e como a utilizou para concluir que a força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre dois corpos eletrizados.

A discussão do texto permite entender o processo pelo qual Coulomb chegou à proposição de que a força elétrica é proporcional ao inverso do quadrado da distância. Evidenciando como se deu a enunciação desse conceito. Entendemos que tais elementos são importantes para que o aluno possa compreender o conceito de força elétrica, e superar a aquisição mecânica da expressão matemática que a representa. Nossos dados mostram (*Tabela 4*) que aproximadamente 67% dos graduandos descreveram o procedimento experimental de Coulomb corretamente e, que 25% descreveram de forma parcial. Mostram

ainda, que metade dos alunos descreveu satisfatoriamente o aparato experimental, e que 25% descreveram parcialmente (Tabela 3). Esses dados evidenciam que a maioria dos graduandos, que optaram por responder a esta pergunta, adquiriu elementos importantes sobre o processo de proposição da lei de força elétrica. Desta forma, passam a ter conhecimentos que podem subsidiar a aprendizagem significativa do conceito.

Segundo Villani e colaboradores (1997, p. 44), a discussão e compreensão do processo de proposição dos conceitos e teorias enriquecem o ensino, pois vão além dos aspectos experimentais e matemáticos. A História da Ciência pode promover uma melhor compreensão e contribuir para a aprendizagem dos conceitos científicos. Este argumento fundamenta-se na convicção de que um entendimento bem fundamentado é necessariamente histórico, que a melhor forma de se entender um conceito é por meio de sua construção histórica (MATTHEWS, 1994, p. 50-1). Portanto, entender o processo de elaboração de um conceito é importante para a sua compreensão.

As Tabelas 1 e 2 mostram que, inicialmente, a maioria dos graduandos entendia que uma carga exerce força diferente sobre a outra na interação entre elas. Esta é uma informação importante, pois tal idéia prévia pode, posteriormente, comprometer o entendimento correto do conceito. Com isto, durante a discussão do texto histórico procuramos chamar a atenção dos alunos para o fato de que Coulomb não estava aferindo duas forças elétricas de valores diferentes. Ele estava aferindo uma única força elétrica, que ocorre devido à interação entre as duas esferas carregadas, e que a força que uma esfera exerce na outra tem o mesmo módulo, o que as diferencia é o sentido. As respostas dos alunos à *Questão 3* mostram que, após a discussão do texto, ao se referirem à força elétrica, nenhum deles mencionou a existência de forças diferentes, como alguns fizeram anteriormente. Assim, os alunos adquiriram uma importante característica da força elétrica, a qual posteriormente poderá servir como subsunçor para a aprendizagem do conceito, no momento da sua formalização. É importante destacar que a maioria dos alunos que respondeu a questão sobre o texto de Coulomb havia mencionado a existência de duas forças distintas ao responderem o questionário de conhecimentos prévios.

Os dados mostram, também, que quase 84% dos alunos expressaram a lei proposta por Coulomb, na sua *Primeira Memória*, de forma correta. Deste modo, podemos deduzir que esses aprendizes adquiriram subsunçores que podem subsidiar a aprendizagem significativa da lei de força elétrica. Adquiriram uma importante característica da interação entre cargas elétricas, isto é, que a força elétrica é proporcional ao inverso da distância entre as cargas ao quadrado. Esta é uma idéia mais geral, que pode ser diferenciada dando origem à *aprendizagem significativa subordinativa correlativa*. A partir dessa idéia e do conceito de proporcionalidade, é possível chegar à forma como a lei de força elétrica é enunciada atualmente, uma vez que Coulomb não a propôs como uma igualdade. Portanto, a idéia mais geral seria diferenciada em termos de outras idéias, que são extensão, modificação e qualificação dela. Assim, ampliam-se os atributos essenciais do conceito.

Ao descrever corretamente o aparato e o procedimento experimental, os alunos demonstraram ter adquirido outras idéias importantes que podem subsidiar a aprendizagem significativa, no momento da formalização do conceito. Afinal, o texto histórico foi discutido antes de o professor ministrar o conteúdo. Por exemplo, adquiriram a idéia de que quando duas esferas condutoras, uma carregada e outra neutra, se encostam a eletricidade se distribui entre elas. Este é um conhecimento mais geral e inclusivo, que pode ser diferenciado dando origem à *aprendizagem significativa subordinativa correlativa*. Neste caso, há um conteúdo subsequente mais diferenciado: especificar quais são os entes

carregados que passam de uma partícula para outra, bem como o papel fundamental da lei de conservação da carga nesse processo. É possível ocorrer a aprendizagem significativa subordinativa correlativa porque o conteúdo ministrado posteriormente à idéia mais geral é extensão, modificação, e qualificação dos conhecimentos adquiridos com o texto histórico.

Neste trabalho, verificamos que os sujeitos da pesquisa adquiriram alguns subsunçores com as discussões do texto histórico em sala de aula, o que pode, posteriormente, subsidiar a aprendizagem significativa do conceito de força elétrica. Ressaltamos que a *disponibilidade de conteúdo relevante* (subsunçores) na estrutura de conhecimento de um aprendiz é uma variável decisiva para a aprendizagem significativa.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. *Educational Psychology: A cognitive view*. Nova York: Holt, Rinehart and Winston, INC., 1968.
- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Paralelo, 2003.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia Educacional*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Tradução de Luiz Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. *Investigação Qualitativa em Educação*. Uma introdução à teoria e aos métodos. Tradução de M. J. ALVAREZ; S. B. SANTOS; T. M. BAPTISTA. Portugal: Porto Editora, 1994.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio (Parte III – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias)*. Brasília: MEC, 2000.
- COULOMB, C. A. Premier Mémoire - Construction et usage d'une balance électrique, [...] à l'angle de torsion. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, p. 569-577, 1785a.
- COULOMB, C. A. Deuxième Mémoire - Ou L'On Détermine Suivant [...] Soit para Attraction. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, p. 116-146, 1785b.
- DIAS, P. M. C. A (Im)Pertinência da História ao aprendizado da Física (um Estudo de Caso). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 2, p. 226-235, 2001.
- DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S. O Passado, o Presente e o Cotidiano: Uma Tentativa de Ensinar Física. In: Nilson, M. D. (org.) *Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Sociedade Brasileira de Física, 1CD-ROM, p.1615-1623, 2003.
- FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 17, n. 3, p. 441-452, 1999.
- MARTINS, R. A. Contribuição do conhecimento histórico ao ensino do eletromagnetismo. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 5, p. 49-57, 1988. (Número especial).
- MATTHEWS, M. R. *Science teaching – the role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa: A Teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.
- MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.
- VILLANI, A. et al. Filosofia da Ciência, História da Ciência e psicanálise: analogias para o ensino de Ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 14, n. 1, p. 37-55, 1997.
- VANNUCCHI, A. I. *História e Filosofia da Ciência: da teoria para a sala de aula*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Inst. de Física e Fac. de Educação, USP, São Paulo, 1996.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Sears e Zemansky Física III: Eletromagnetismo*. 10. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2004.