Uma Releitura Sobre a Abordagem da Lei de Coulomb e da Lei de Gauss no Ensino de Física para os Cursos de Engenharia

A release on the approach of the Coulomb's law and the Gauss's law on physical education for engineering courses

Samuel de Oliveira[1]

[1]Centro Universitário de Formiga – UNIFOR – MG. Formiga, Minas Gerais, Brasil.

Resumo

Na aprendizagem de conceitos e definições que norteiam o ensino de Física, o uso da matemática e dos elementos matemáticos valorizam o saber e efetivam o aprendizado. O objetivo do trabalho foi descrever a solução de um problema de campo elétrico muito abordado nas disciplinas de Física na graduação em engenharia. Utilizou-se a modelagem matemática por meio da lei de Coulomb e também uma solução rápida e direta fazendo uso da lei de Gauss. A hipótese do trabalho é de que se o aluno adota a prática na solução de problemas indo direto à fórmula dada pela biografia adotada, o mesmo terá dificuldades na aprendizagem e na concepção dos conceitos físicos, sendo esses conceitos, base para os estudantes de graduação em engenharia. A resolução matemática de problemas é uma habilidade que precisa ser adquirida, pela qual o indivíduo externa o processo construtivo de aprender e de converter essa aprendizagem em ações, conceitos e proposições.

Palavras-chaves: Lei de Coulomb. Lei de Gauss. Aprendizagem de Física.

Autor correspondente:
Samuel de Oliveira
E-mail: professor.samuel@yahoo.com.br

Recebido em: 26/07/2016
Revisado em: 07/10/2016
Aceito em: 11/10/2016
Publicado em: 07/12/2016

Abstract

For learning concepts and definitions that guide the teaching of physics, the use of mathematics and mathematical elements value knowledge and actualize learning. The objective was to describe the solution of an electric field problem much discussed in the disciplines of physics in undergraduate engineering. Was used in a mathematical model by means of Coulomb's law and also a quick and direct solution using the Gauss' law. The hypothesis of the study is that if the student adopts the practice in solving problems going direct to the formula given by the biography adopted, it will have difficulties in learning and design of physical concepts, and these concepts, the basis for undergraduate students engineering. The mathematical problem solving is a skill that has to be acquired, in which the individual external the constructive process of learning and convert that learning into action, concepts and propositions.

Keywords: *Coulomb's law. Gauss' law. Physical learning.*

Introdução

No ensino de eletricidade e magnetismo, os conceitos introdutórios de carga elétrica e força elétrica dão subsídios para o entendimento do conceito de campo elétrico, ao qual a lei de Gauss vem de forma simplificada e elegante solucionar os problemas que abordam esse estudo. Nas suas aplicações, seja ela conceitual ou na resolução de problemas, essa teoria exige do aluno um conhecimento de Cálculo Diferencial e Integral e também Geometria. Dessa forma, as ideias básicas que permeiam a lei de Gauss tornam-se de difícil compreensão para os alunos que cursam a graduação, em especial, em Engenharia.

No intuito de aprofundar e caracterizar o ensino de Física como uma ferramenta para o conhecimento, a aprendizagem deve mostrar-se efetiva a partir do momento em que seus conceitos intermediários também são assimilados por meio dos conceitos preexistentes e não apenas no uso de fórmulas prontas para sua execução. A organização e o caminhamento linear das teorias contribuem para o aprendizado efetivo do estudante. Conforme Moreira e Krey (2006), a falta de elementos perceptivos e também a habilidade em lidar com os conhecimentos abstratos são as possíveis causas para que o estudante tenha dificuldade em entender as articulações e o desenvolvimento da lei de Coulomb e também da lei de Gauss.

O trabalho aborda algumas passagens que envolvem a utilização da Lei de Coulomb e da Lei de Gauss, tendo como base as principais referências bibliográficas adotadas para a disciplina de Física III nos cursos de engenharia. As principais obras que abordam esse assunto sonegam algumas demonstrações que utilizam o Cálculo e a Geometria, deixando-as para que o estudante possa desenvolvê-las.

Partindo do pressuposto de que os estudantes preferem adotar as fórmulas apresentadas pelos autores das bibliografias adotadas, ao invés de investigar e desenvolver os cálculos intermediários, o trabalho busca mostrar esse desenvolvimento e evidenciar as principais questões que norteiam esse assunto. Como objetivo, o trabalho aborda o desenvolvimento não revelado pelos autores das bibliografias usadas nos cursos de engenharia, das soluções de problemas que envolve o cálculo do campo elétrico produzido por uma linha reta carregada eletricamente. Essa investigação permite entender fenômenos simples como o acender de uma lâmpada, tal fato mostra-se relevante para o efetivo aprender dos estudantes.

Força Elétrica e Campo Elétrico

Se duas partículas carregadas eletricamente são colocadas próximas uma da outra, ambas produzirão forças de atração ou repulsão, ou seja, se as cargas tiverem o mesmo sinal haverá repulsão, logo, se as cargas tiverem sinais opostos, haverá atração. De acordo com Nussenzveigh (1997, pág. 6) essa força de repulsão ou atração foi estudada e verificada experimentalmente por Charles Augustin de Coulomb em 1875, com o auxílio de uma balança de torção, sendo seu resultado explicado pela equação 1 a seguir:

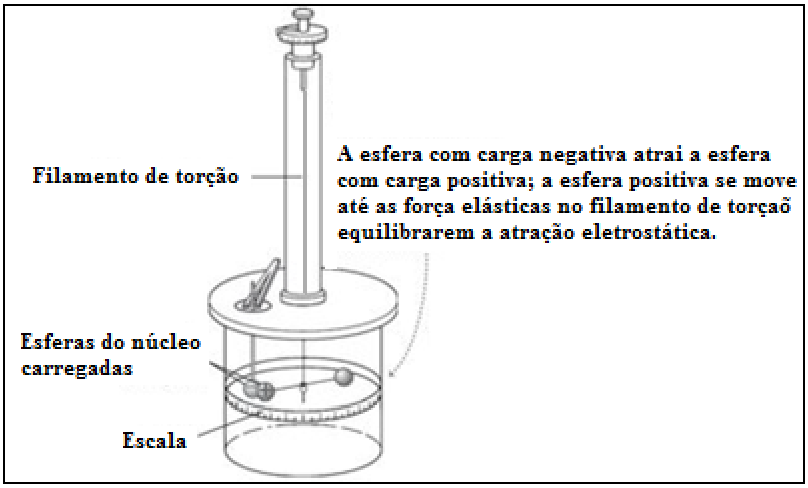
$$F = k\frac{q_1 q_2}{(r_{12})^2}\hat{r}_{12} \qquad (1)$$

na qual *F* é a força que atua sobre uma partícula devida a presença de outra e $\hat{r}$ é o vetor unitário de direção 1 para 2 que une as duas partículas, *k* é uma constante eletrostática e geralmente é abordada também na forma $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$, assim, a equação (1) pode ser reescrita na equação (2) mostrada a seguir:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{(r_{12})^2}\hat{r}_{12} \qquad (2)$$

Para chegar a essa definição, Coulomb utilizou uma balança de torção, como a que está representada na figura 1 a seguir.

FIGURA 1 – Balança de torção



Fonte: Young & Freedman (2009, pág. 8).

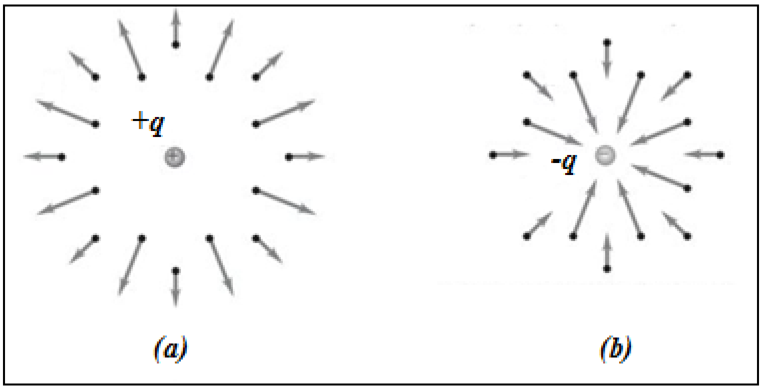
Segundo afirma Halliday & Resnick (2013, pág. 5), a lei de Coulomb foi validada em todos os testes experimentais até o momento, não sendo encontrada nenhuma exceção a ela, sendo válida até mesmo no interior de átomos onde as leis de Newton são inválidas.

Outro tema abordado pelas principais referências literárias do assunto é o de campo elétrico, assunto inevitável para se compreender a eletrostática e segundo Tipler e Mosca (2009, pág. 11) a ideia de campo elétrico se dá através da pergunta: Qual é o mecanismo através do qual uma partícula pode exercer força sobre outra através do espaço vazio entre elas? Surge então a ideia de campo elétrico que buscar explicar a interação entre corpos através do espaço vazio. A ideia de campos elétricos foi introduzida por Michael Faraday no século XIX, e, a princípio, o campo elétrico pode ser definido segundo Halliday & Resnick (2013, pág. 22) como uma distribuição de vetores, um para cada região em torno de um objeto eletricamente carregado, sendo seu módulo definido conforme a equação (3).

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{(r_1)^2}\hat{r}_1 \tag{3}$$

Dessa forma, a definição de campo elétrico é a razão da força elétrica produzida por unidade de carga. Na figura 2 a seguir, tem-se a representação dos vetores campo elétrico produzidos no espaço pela presença de cargas elétricas.

FIGURA 2 – Representação dos vetores campo elétricos de duas partículas elétricas



Fonte: Young & Freedman (2009, pág. 15).

Conforme mostra a figura 2, o campo elétrico gerado por uma carga positiva (a) são vetores cuja orientação aponta radialmente para longe da carga, enquanto que para carga negativa (b) os vetores campo elétrico apontam para uma direção dirigida radialmente para a carga.

Lei de Gauss

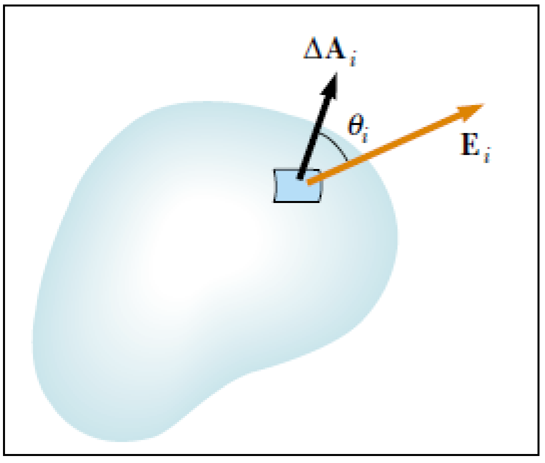
A lei de Gauss segundo Serway e Jewett (2004, pág. 740) é uma consequência da lei de Coulomb sendo mais conveniente para o cálculo de campos elétricos onde as cargas possuem uma distribuição com alta simetria, promovendo uma forma de raciocínio qualitativo útil ao lidar com problemas complicados. Halliday & Resnick (2013, pág. 50) definem a lei de Gauss como uma relação do campo elétrico nos pontos de uma superfície gaussiana (fechada) à carga total envolvida por essa superfície, e conforme Tipler e Mosca (2009, pág. 46) o número resultante de linhas de campo elétrico saindo de qualquer superfície contendo cargas elétricas em seu interior é proporcional à carga líquida no interior dessa superfície, chamada de superfície gaussiana.

Como a lei de Gauss relaciona as linhas de campo elétrico que atravessam uma superfície gaussiana, é importante abordar o conceito de fluxo de um campo elétrico, que segundo Young & Freedman (2009, pág. 44) é análogo ao escoamento de um fluido, de tal forma que a vazão é substituída pelo fluxo elétrico, que na forma quantitativa é expressa por:

$$\Phi = \sum \vec{E} \cdot \Delta \vec{A} = \oint \vec{E} \, . d\vec{A} \qquad (4)$$

onde $\vec{E}$ é o módulo do campo elétrico e $\Delta \vec{A}$ representa a porção de área na qual as linhas de campo elétrico atravessam, ficando evidenciado o tratamento vetorial, onde se aplica o produto escalar. Assim, a definição exata para o fluxo elétrico é obtida fazendo com que a área dos quadrados conforme mostra a figura 3 tenda a zero, tornando-se uma área diferencial *dA*, que no caso, torna-se uma integral de superfície, como mostra a segunda parte da equação (4).

FIGURA 3 – Superfície gaussiana com um elemento de área.



Fonte: Serway & Jewett (2004, pág. 741).

Como afirmam Halliday & Resnick (2013, pág. 50) a lei de Gauss relaciona o fluxo total de um campo elétrico de uma superfície gaussiana fechada à carga total envolvida por essa superfície, que em termos quantitativos é expressa por:

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \, . d\vec{A} = q_{env} \qquad (5)$$

Na equação (5) a carga total envolvida pela superfície gaussiana é a soma algébrica das cargas positivas e negativas envolvidas pela superfície, portanto, se a carga envolvida for positiva o fluxo é para fora da superfície, enquanto que, se a carga envolvida for negativa o fluxo é para dentro da superfície, vale ressaltar que a localização das cargas no interior das superfícies são irrelevantes.

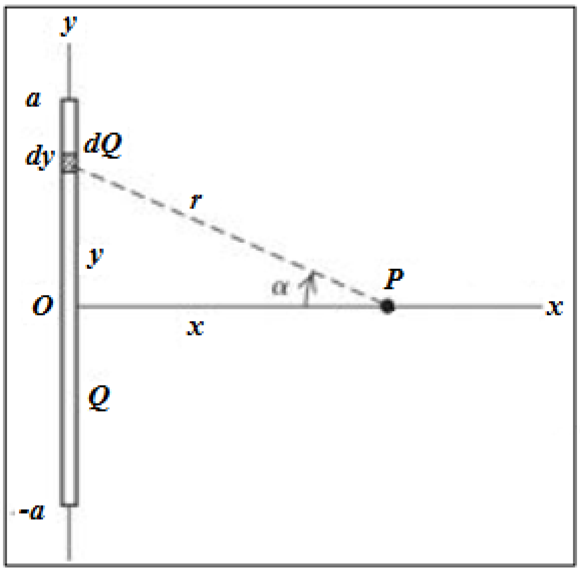
Metodologia

Nas abordagens feitas pelas principais bibliografias relacionadas ao assunto, têm-se alguns exemplos nos quais são mostrados como calcular o campo elétrico de situações específicas. O trabalho foi elaborado de forma detalhada, para calcular o campo elétrico produzido por uma linha reta carregada eletricamente, utilizando o método dedutivo, no qual a dedução revela o caminho das consequências o que leva a uma cadeia de eventos para encontrar a conclusão, que partindo de teorias e leis gerais, pode-se chegar à determinação ou a previsão de fenômenos.

Essa abordagem foi feita utilizando-se a lei de Coulomb e, posteriormente, a lei de Gauss, mostrando a forma na qual o conhecimento intermediário favorece o aluno no entendimento da eletrostática.

Na figura 4 a seguir, tem-se uma distribuição de cargas através de uma linha reta, na qual foi proposto o calculo do campo elétrico no ponto ***P*** descrito.

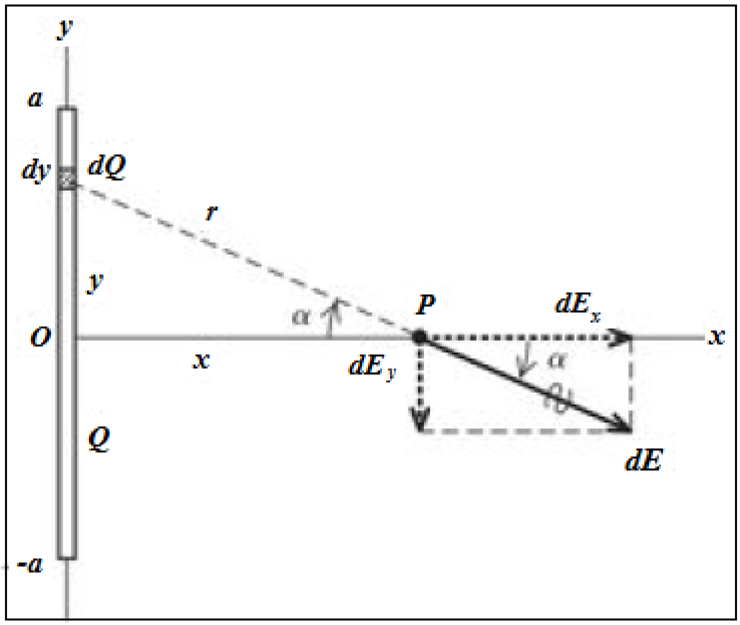
FIGURA 4 – Linha carregada eletricamente.



Fonte: modificado de Young & Freedman (2009, pág. 21).

Na abordagem feita por Young & Freedman (2009, pág. 21), o cálculo do campo elétrico foi realizado a partir da lei de Coulomb, na qual se utilizou a equação (3), para um elemento de carga *dq* situado a uma distância *y* do eixo *x* de referência. Nessa mesma abordagem, os autores utilizam da simetria para que o campo elétrico no eixo *y* seja nulo, pois este terá módulo e direção iguais, porém, ao realizar a integração em toda a linha de carga, esta terá sentido contrário, portanto, nulo o resultado. Na figura 5, descreve-se os vetores campo elétrico no ponto ***P***, como citado anteriormente, a componente *y* é nula, restando apenas a componente *x* do campo elétrico.

FIGURA 5 – Esquematização do problema.



Fonte: Young & Freedman (2009, pág. 21).

Dividindo-se a linha reta em segmentos infinitesimais de carga, sendo estes segmentos, considerados então como cargas puntiformes, aplica-se a equação (3), que ficou descrita da seguinte forma: $dE_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}\hat{r}$, em que *r* é a distância do elemento de infinitesimal de carga até o ponto ***P***. Aplicando a densidade linear de cargas, que é dada por $dy\lambda = dq$, e substituindo na forma de *dE*, obteve-se a seguinte expressão: $dE_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda dy}{r^2}$, na qual *r* poderá ser escrito por $r^2 = x^2 + y^2$.

Como a densidade linear de cargas é a razão da carga pelo comprimento, na expressão anterior, substituiu-se o λ por $\frac{Q}{2a}$, pois a linha carregada eletricamente compreende um comprimento no eixo *y* de 2*a*. Após essas manipulações, a componente *dE* no eixo *x* do campo elétrico produzido pela linha de cargas no ponto ***P***, é descrito por $dE_x = dE.\cos\alpha$ e será expressa na forma:

$$dE_x = dE.\cos\alpha = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{2a}\frac{dy}{(x^2+y^2)}\frac{x}{(x^2+y^2)^{1/2}} \qquad (6)$$

Após determinar a expressão (6) para calcular um campo elétrico infinitesimal no ponto ***P***, realizou-se a integração ao longo do eixo *y* que vai de *–a* até *a*, podendo então tirar do símbolo de integração os valores constantes, resultando em:

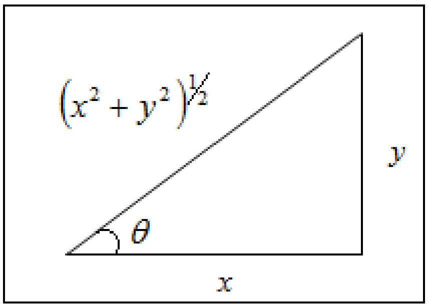
$$E_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{xQ}{2a}\int_{-a}^{a}\frac{dy}{(x^2+y^2)^{3/2}} \qquad (7)$$

Na bibliografia referenciada, é até este instante que o autor propõe a discussão, a partir desse ponto, o aluno é convidado a resolver a integração, fato esse que, a partir daqui, o aluno, então, despreza essa etapa e opta por ir diretamente à resposta que o autor sugere. Como parte do objetivo do trabalho, a resolução da integração, que é o momento em que o estudante foi convidado a realizar, se fez através do método da integral trigonométrica.

Resultados

A dedução ao resultado final da equação (7) utilizou a integral trigonométrica, sendo ela na forma: $\int_{-a}^{a}\frac{dy}{\left[(x^2+y^2)^{1/2}\right]^3}$, na qual o expoente 3/2 foi trocado por (1/2)^3, obedecendo a propriedade de que um expoente elevado a outro expoente, pode ser resolvido pela multiplicação dos expoentes. A partir daqui, utilizou-se as relações trigonométricas para resolver a integral. A figura 6 mostra o triângulo retângulo no qual foram extraídas as relações trigonométricas que serão substituídas no denominador da integral, sendo $y = x.tg\,\theta$.

FIGURA 6 – Triângulo retângulo utilizado na integração trigonométrica.



Fonte: Autor.

Foi então substituído na expressão a ser integrada, no lugar do termo *y*, a expressão $y = x.tg\,\theta$, ficando na seguinte forma: $\int_{-a}^{a}\frac{dy}{\left[\left(x^2+(x.tg\theta)^2\right)^{1/2}\right]^3}$, que a partir daqui o elemento *x* no denominador foi colocado em evidência e posteriormente utilizou-se da relação trigonométrica $\sec^2\theta = 1 + tg^2\theta$. Seguindo passo a passo, a expressão tornou-se:

$$\int_{-a}^{a}\frac{dy}{\left[(x^2+x^2.tg^2\theta)^{1/2}\right]^3} = \int_{-a}^{a}\frac{dy}{\left[\left(x^2(1+tg^2\theta)\right)^{1/2}\right]^3} = \int_{-a}^{a}\frac{dy}{\left[(x^2\sec^2\theta)^{1/2}\right]^3} = \int_{-a}^{a}\frac{dy}{\left[(x\sec\theta)\right]^3}$$

A partir desse momento, o diferencial *dy* deve ser trocado por outro, já que o termo a ser integrado passa a ser o elemento θ, assim, a expressão $y = x.tg\,\theta$, que foi utilizada para substituir *y* no denominador da integral, foi derivada obtendo o seguinte resultado: $dy = x.\sec^2\theta.d\theta$, que a partir de agora foi substituído na expressão, tornando-se: $\int_{-a}^{a}\frac{x.\sec^2\theta d\theta}{x^3\sec^3\theta}$, simplificando termo a termo e tirando do símbolo de integração a variável *x*, encontrou-se a expressão: $\frac{1}{x^2}\int_{-a}^{a}\frac{d\theta}{\sec\theta}$, cuja solução é $\frac{1}{x^2}sen\,\theta\big|_{-a}^{a}$. Agora, com a integral solucionada, substitui-se $sen\,\theta$ por $\frac{y}{\left(x^2+y^2\right)^{1/2}}$ conforme a figura 6 e resolveu os limites de integração dado, resultando na expressão final que é a solução da equação (7):

$$E_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{x\left(x^2+a^2\right)^{1/2}} \qquad (8)$$

Ainda em continuação à solução do problema, se for considerado um fio cujo comprimento hipotético fosse infinito, a solução mostrada pela equação (8) seria modificada, pois o valor de *a* tornar-se-ia infinito. Expressando a solução (8) em termos da densidade linear de cargas, tem-se: $E_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda 2a}{x\left(x^2+a^2\right)^{1/2}}$, assim, simplificando essa expressão, tomando o termo *a* no numerador como $\sqrt{a^2}$ obteve-se a expressão (9):

$$E_x = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda}{x\left(\frac{x^2}{a^2}+1\right)^{1/2}} \qquad (9)$$

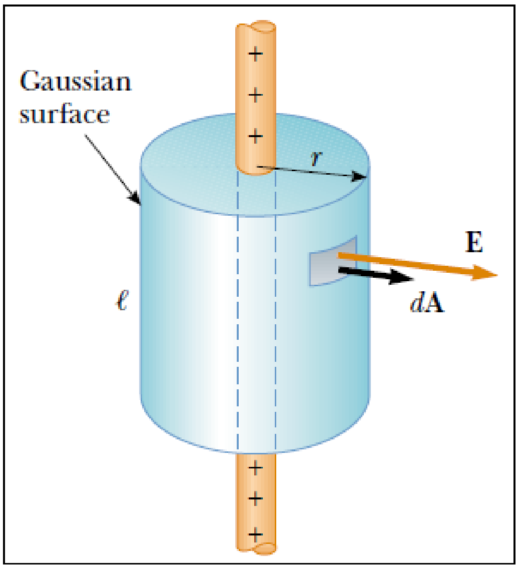
Como sugerido, quando o valor de *a* tende ao infinito, a razão x^2/a^2 tende a zero, e a expressão (9), torna-se:

$$E_x = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 x} \qquad (10)$$

Após a aplicação da lei de Coulomb para modelagem do campo elétrico de cargas elétricas uma linha retilínea, o mesmo problema será agora solucionado, utilizando a lei de Gauss. Num primeiro instante, o estudante que está interessado apenas na utilização da fórmula final, terá como ideia inicial a resolução da equação (5), ou seja, solucionar a integral de superfície do produto escalar do campo elétrico pelo vetor normal área, o que causará uma enorme dificuldade, pois agora, na resolução desse problema, não há necessidade de resolver a integral, por isso Serway & Jewett (2004, pág. 740) afirmam que a lei de Gauss promove um raciocínio qualitativo útil ao resolver problemas complicados.

Para obter a solução do campo elétrico de cargas elétricas numa linha retilínea utilizando a lei de Gauss, foi necessário escolher uma superfície gaussiana, que envolvesse parte da linha retilínea de cargas. Dessa forma, a superfície gaussiana escolhida, deve ter a mesma simetria do objeto de estudo, logo, escolheu-se uma superfície cilíndrica, conforme evidencia a figura 7.

FIGURA 7 – Superfície gaussiana cilíndrica envolvendo um fio retilíneo carregado.



Fonte: Serway & Jewett (2004, pág. 749).

Como mostrado na figura 2 (a), o campo elétrico de cargas positivas, são linhas radiais que saem das cargas, dessa forma, conforme revelou a figura 7, o fluxo elétrico nas bases da superfície gaussiana (cilindro) é zero. Resultado esse confirmado pelo ângulo formado entre a normal da superfície e o campo elétrico das cargas, como o ângulo formado é de 90º, o produto escalar da integral de superfície da lei de Gauss é nulo. Na superfície lateral do cilindro, o ângulo formado em qualquer parte do cilindro com o diferencial *dA* é zero, logo, o produto escalar dos vetores é igual a 1 e a equação (5) torna-se:

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E}.d\vec{A} = q_{env} \rightarrow \varepsilon_0 \oint E.dA.\cos 0^{o} = q_{env}$$

$$\rightarrow \varepsilon_0 .E \oint dA = q_{env}$$

Dessa forma, a integral de superfície de *dA* tem simplesmente como resultado a área lateral da superfície gaussiana (cilindro), que é dada por $A = 2\pi Rl$. Depois de resolvida a integral, bastou simplificar a expressão e usando-se também a densidade linear de cargas que é dada por $q_{env} = \lambda l$, a expressão tornou-se:

$$\varepsilon_0 .E.2\pi Rl = q_{env} \rightarrow \quad \varepsilon_0 .E.2\pi Rl = \lambda l \rightarrow$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 R}$$

A expressão final encontrada é igual a equação (10), confirmando assim a validade da lei de Gauss na solução desse problema.

Foi verificado nas bibliografias em questão que algumas passagens matemáticas são suprimidas, logicamente, com o intuito de que o estudante possa realizar os cálculos intermediários, o que na maioria dos casos, não é o que acontece, surgindo assim a dificuldade do aluno em abstrair o conhecimento e partir para novas perspectivas. O estudante, então, se interessa apenas pela fórmula pronta já mostrada na bibliografia. Como se verificou, o trabalho matemático por trás da integral é o fator que inibe ao estudante a continuar o desenvolvimento proposto pelo autor e assim obter a abstração dos fenômenos relacionados à eletrostática. São situações como essa que Moreira e Krey (2006) abordam, mostrando que pesquisas educacionais sugerem que os alunos veem algumas leis como algo a ser decorado, cuja a explicação seria a dificuldade na forma de operar matematicamente os conceitos envolvidos nas fórmulas e também as dificuldades do entendimento superficial de conceitos que suportam o conceito final ou principal das situações a serem resolvidas.

Essas demonstrações mostraram que se o estudante não estiver assimilado aos conceitos matemáticos por trás da teoria, ele prontamente contrairá o hábito que a maioria dos estudantes possui, de que o principal é a resposta final, como uma forma de memorização para a solução do problema. Diante disso, Costa e Moreira (2001) afirmam que a resolução de problemas é uma habilidade pela qual o estudante fixa o poder construtivo de aprender, de converter as manobras matemáticas em conceitos, proposições e exemplos adquiridos.

Na proposta do trabalho, ambas as representações chegam a um mesmo resultado, isso evidencia que entender um enunciado não representa que o aluno possa resolver a situação proposta, mas não compreender a teoria por trás do enunciado é a primeira condição para o não progresso na disciplina e consequentemente ao avanço dos estudos. A percepção do aluno em distinguir e realizar os cálculos intermediários a fim de solicitar a melhor solução e desenvolver o raciocínio lógico é também mostrado por Costa e Moreira (2001) os quais afirmam que, quando as situações a serem resolvidas envolvem os enunciados da Física, a modelagem mental é agravada pelo fato de ser derivada da compreensão de conteúdos e não da percepção direta de eventos e objetos do mundo. Assim, ao aluno que suprime essa parte matemática que foi desenvolvida no trabalho, poderá situar-se na classe daqueles alunos que não aprendem Física pelo simples fato de que, se a fórmula apresentada pelo professor ou pela obra escolhida não for suficiente para resolução do problema, este torna-se sem solução.

Conclusão

O trabalho apresentado mostra como a comprovação matemática por meio de fatos consolidados revela ao estudante que o conceito pronto poderá trazer consequências nas quais impedirá de resolver situações problemas utilizando-se de ferramentas simples. Isso ficou evidente na forma em que a lei de Coulomb tratou o problema do campo elétrico de uma linha retilínea, caso o aluno fique apenas na memorização das fórmulas apresentadas pelos autores das obras citadas, isso trará implicações no momento em que for utilizar ferramentas mais sofisticadas, como por exemplo, a lei de Gauss, onde a solução da integral de superfície se faz de forma qualitativa.

O trabalho mostrou que a aprendizagem conseguida por meio da resolução dos problemas possui maior eficácia ao entendimento e à consolidação de fenômenos relacionados ao campo da Física. Para que os alunos enxerguem a Física como uma construção dinâmica de conhecimentos, não se deve ir direto ao resultado final, mas utilizar uma forma mais didática na qual ele possa desenvolver, através do Cálculo, seus conhecimentos e sua percepção acerca do que os métodos se propõem.

O desenvolvimento do método dedutivo proposto pelo autor favorece o entendimento e a compreensão de vários outros fenômenos físicos que, ao invés de encará-los simplesmente como fórmulas finais, servem de incentivo para o desenvolvimento de práticas que favorecem a construção do conhecimento.

Declaração de conflitos de interesses

Os autores do artigo afirmam que não houve nenhuma situação de conflito de interesse, tais como propostas de financiamento, emissão de pareceres, promoções ou participação em comitês consultivos ou diretivos, entre outras, que pudessem influenciar no desenvolvimento do trabalho.

Referências

1. COSTA, Sayonara S. C.; MOREIRA, Marco Antônio. A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 18, n. 3, p. 263-277, 2001.
2. HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física:** eletromagnetismo. Rio de Janeiro: LTC, 2013. V. 3. 375 p.
3. MOREIRA, Marco Antônio; KREY, Isabel. Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 353-360, 2006.
4. NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica 3:** eletromagnetismo. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. v. 3. 323 p.
5. SERWAY, Raymond. A.; JEWETT, John. W. **Physics for Scientists and Engineers.** 6th. Thomson, 2004. 1283 p.
6. TIPLER, Paul; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**: eletricidade e magnetismo, óptica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. v. 2. 550 p.
7. YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger A. **Sears & Zemansky Física III**: eletromagnetismo. 12. ed. São Paulo: Adisson Wesley, 2009. 422 p.