

DIAGNÓSTICO DA APRENDIZAGEM DE SIMETRIA E LEI DE GAUSS

Maurizio Santos Scuto, Daniela Szilard

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, msantoss2312@gmail.com

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, daniela@if.ufrj.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é diagnosticar a aprendizagem de simetria e Lei de Gauss em diversas disciplinas e níveis de graduação e pós-graduação em uma instituição federal de ensino superior no Brasil. Para isso, dados da pesquisa foram coletados ao ministrarmos, a diversas turmas, o inventário de conceitos “Symmetry and Gauss's Law Conceptual Evaluation” (SGCE), desenvolvido pelo Departamento de Física e Astronomia da Universidade de Pittsburgh, que aborda conceitos de simetria, fluxo e campo elétrico, a Lei de Coulomb e a Lei de Gauss. O teste foi aplicado inicialmente a 58 estudantes de três níveis distintos de formação e, com as bases teóricas e educacionais que levaram ao desenvolvimento dessa pesquisa, pôde-se analisar e explorar algumas das principais dificuldades apresentadas pelos estudantes. As conclusões, qualitativas e quantitativas servem de norte para uma melhor compreensão da eficácia no processo de ensino e aprendizado da Lei de Gauss.

Palavras-chave: ensino de eletromagnetismo, Lei de Gauss, campo elétrico, simetria

Introdução

O estudo das dificuldades de estudantes de diferentes níveis de graduação e pós-graduação em trabalhar com conceitos como o campo elétrico e o princípio da superposição não é recente na literatura em ensino de Física (VIENNOT e RAINSON, 1992; VIENNOT e RAINSON, 1999). Ideias como que o campo elétrico não pode penetrar região com isolante pois as cargas não se movem revelam confusões a respeito do princípio da superposição. Outro conceito equivocado é que apenas a carga elétrica interna a uma região pode criar campo elétrico, o que já sugere ideias distorcidas sobre a Lei de Gauss.

Em particular, devido à ênfase de muitos livros introdutórios de Eletromagnetismo (por exemplo, SEARS et al, 2015; HALLIDAY et al, 2023) nas aplicações da lei de Gauss, o estudante é levado a crer que a lei de Gauss é apenas um método para calcular o campo elétrico em situações com simetria (KRAPAS, ALVES e CARVALHO, 2000). Simetria, para ele, é um conceito pouco claro: simetria presente nas distribuições de carga na forma da superfície gaussiana nas linhas de campo.

As dificuldades específicas de estudantes relacionadas à natureza do fluxo do campo elétrico, lei de Gauss e sua relação com simetrias foram relacionadas em outros trabalhos (ARAUJO, VEIT e MOREIRA, 2007; MOREIRA, M. A. e KREY, I, 2006; SINGH, 2006) e incluem, entre outras, identificação de simetrias, confusão entre campo elétrico e fluxo elétrico, não saber lidar com o princípio da superposição, confusão entre as dimensões da gaussiana com as dimensões dos objetos que compõem o sistema, confusão entre o conceito do campo elétrico e suas componentes. Em particular, a literatura especializada apresenta propostas para superar essas dificuldades (GOLDMAN et al, 1981; LI e SINGH, 2017; LI e SINGH, 2019).

É sabido que, quando são expostos a inconsistências conceituais, estudantes são propensos a tolerá-las. É necessário que a instrução leve em conta essas pré-concepções ou conceitos equivocados, caso contrário, ela será praticamente inefetiva (MOREIRA, 2011). Avaliar a visão crítica do estudante sobre um determinado tópico científico, ou seja, o quanto o seu entendimento sobre este assunto e de alguma forma semelhante ao de um cientista, não é, pois, uma tarefa trivial. Por causa disso, a comunidade de Pesquisa em Ensino de Física desenvolveu diversas ferramentas de avaliação, que são testes padronizados cujo o objetivo é medir a aprendizagem do estudante sob esse aspecto (ADAMS & WIEMAN, 2010; MADSEN, MCKAGAN & SAYRE, 2017) e, em particular, o entendimento do estudante sob o ponto de vista conceitual. Essas ferramentas são chamadas de inventário de conceitos.

O presente trabalho realiza uma investigação preliminar dos conceitos de simetria e lei de Gauss através de aplicações de um inventário de conceitos chamado Symmetry and Gauss's Law Conceptual Evaluation (SGCE) (SINGH, 2006). O objetivo é realizar um diagnóstico das dificuldades conceituais no tema dos estudantes em uma instituição de ensino superior no Brasil.

Metodologia

Diversos pesquisadores e acadêmicos já se debruçaram sobre o ensino da Lei de Gauss sobre diversos ângulos e abordagens. Esses trabalhos serviram de inspiração para a formulação desse projeto, que tem por objetivo analisar de forma profunda a problemática em nossa realidade próxima, realizando a análise em uma em uma universidade pública federal.

O teste¹ SGCE foi desenvolvido pela Universidade de Pittsburgh (SINGH, 2006) e contém 25 questões objetivas e conceituais. Foi aplicado para centenas de estudantes com o objetivo de avaliar o entendimento deles nos diversos aspectos que envolvam os conceitos de simetria, lei de Gauss, fluxo elétrico e princípio da superposição. Depois de traduzido, para este trabalho, o teste foi aplicado três vezes em turmas de níveis diferentes de graduação e pós-graduação: uma turma de 37 alunos da disciplina de Introdução ao Eletromagnetismo (disciplina básica de eletromagnetismo para estudantes do segundo ano) que era composta por alunos de cursos noturnos de Licenciatura em Física, em Química e em Matemática; uma turma de 8 alunos da disciplina de Tópicos de Eletromagnetismo (disciplina avançada de eletromagnetismo para alunos a partir do quarto ano) composta integralmente por alunos de Licenciatura em Física; uma turma de 13 alunos de uma pós-graduação voltada a professores de Física do Ensino Médio. O teste na turma da disciplina avançada de Eletromagnetismo foi aplicado no modelo pré e pós-teste. As outras turmas tiveram aplicação única.

Resultados

O teste foi aplicado a 58 alunos de diferentes níveis de graduação e pós-graduação e foi possível identificar alguns padrões de resposta e dificuldades apresentados por eles. As médias e o desvio padrão apresentados por cada grupo estão presentes no Quadro 1.

Quadro 1: Médias e Desvios Padrões dos grupos participantes do teste SGCE.

	N (número de participantes no grupo)	Média	Desvio Padrão
Grupo Introdução ao Eletromagnetismo	37	37%	16%
Grupo Tópicos de Eletromagnetismo PRÉ	8	51%	20%
Grupo pós-graduação	13	34%	20%

¹ O teste está disponível em www.physport.org.

Tendo em mente que no estudo realizado pela universidade de Pittsburgh a média apresentada pelos alunos de graduação foi de 49% (N=541), pode-se perceber que existe uma diferença não desprezível no nível de entendimento da Lei de Gauss apresentado pelos estudantes brasileiros.

As médias apresentadas pelo grupo Introdução ao Eletromagnetismo e pelo grupo pós-graduação também chamam atenção: apesar da diferença no espaço amostral, as médias são basicamente as mesmas. Podemos associar isso ao fato de os estudantes da pós-graduação (em sua maioria, professores de física no ensino médio) não terem contato no dia a dia com a Lei de Gauss.

O grupo “Tópicos de Eletromagnetismo PRÉ” apresenta os dados coletados desta turma para uma aplicação realizada no início da disciplina, antes dos conceitos de Lei de Gauss serem revistos pela professora. O pós-teste foi realizado nessa mesma turma no final da disciplina, e esses dados se encontram no Quadro 2. É importante ressaltar, no entanto, que esses dados apresentam um efeito de seleção. Apenas os quatro estudantes que concluíram a disciplina, 50% do número inicial, realizaram o pós teste.

Quadro 2: Média e Desvio Padrão para aplicação no modelo pré e pós-teste do teste SGCE no grupo Tópicos de Eletromagnetismo.

	N	Média	Desvio Padrão
Grupo Tópicos de Eletromagnetismo - PRÉ	8	51%	20%
Grupo Tópicos de Eletromagnetismo - PÓS	4	74%	7%

Pode-se perceber um ganho de 23% nesta turma. É inegável que a familiarização com os temas da ementa de Tópicos de Eletromagnetismo, inclusive uso de simetrias e a própria Lei de Gauss, contribuiu para este ganho de aprendizagem. Como referência, os estudantes de eletromagnetismo avançado em SINGH (2006) obtiveram 44% e 49%, no pré e no pós teste, respectivamente.

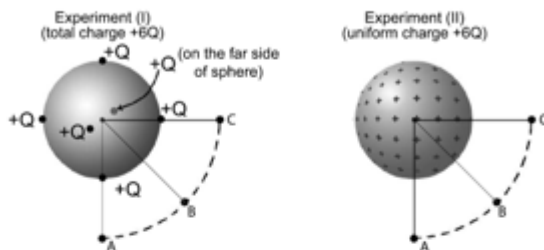
Estudo de dificuldades

Para entender dificuldades específicas relacionadas à Lei de Gauss, foi realizada a análise detalhada de duas questões, as questões 14 e 16 do teste, nas quais os conceitos de simetria e distribuição de cargas são protagonistas. As questões estão apresentadas na Figura 1.

Enunciado para os Problemas 14 e 15. Você realiza dois experimentos (veja a figura abaixo) nos quais distribui uma carga $+6Q$ de forma diferente na superfície de uma esfera isolada oca e isolante (não condutora):

Experimento 1: Você coloca cargas idênticas, $+Q$ cada uma, na superfície esférica em seis aglomerados localizados (você pode considerá-los como cargas puntiformes) de forma que os aglomerados adjacentes estejam equidistantes entre si.

Experimento 2: Você distribui a carga $+6Q$ uniformemente na superfície da esfera.

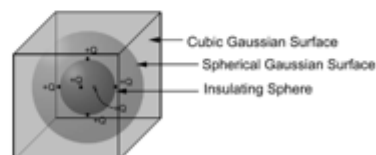


Problema 14. Nos experimentos 1 e 2, os pontos A, B e C estão equidistantes do centro e estão no mesmo plano equatorial da esfera. No experimento 1, os pontos A e C estão diretamente alinhados com duas das cargas e o ponto B está entre os pontos A e C, como mostrado. Qual das seguintes afirmações é verdadeira sobre as magnitudes do campo elétrico nos pontos A, B e C devido à carga superficial $+6Q$?

- (A) Em cada experimento, a magnitude do campo é a mesma nos pontos A, B e C, mas as magnitudes diferem nos dois experimentos.
- (B) Em cada experimento, a magnitude do campo é a mesma nos pontos A, B e C, e as magnitudes são iguais nos dois experimentos.
- (C) No experimento 1, a magnitude do campo é a mesma nos pontos A, B e C, mas não no experimento 2.
- (D) No experimento 2, a magnitude do campo é a mesma nos pontos A, B e C, mas não no experimento 1.
- (E) Nenhuma das opções acima.

Problema 16. Seis cargas puntiformes positivas, $+Q$ cada uma, são colocadas em uma esfera isolante oca e isolada de forma que as cargas puntiformes adjacentes estejam equidistantes (mesmo arranjo que no experimento 1 do Problema 15). Uma superfície gaussiana esférica e uma cúbica concêntricas com a esfera isolante são mostradas na figura abaixo. Das seguintes afirmações, escolha todas as que são verdadeiras sobre o campo elétrico devido a essa distribuição de carga:

- (i) A magnitude do campo elétrico é a mesma em todos os lugares na superfície gaussiana cúbica porque o cubo possui a mesma simetria da distribuição de carga.



- (ii) A magnitude do campo elétrico é a mesma em todos os lugares na superfície gaussiana esférica porque a esfera possui a mesma simetria da esfera isolante.
 - (iii) O campo elétrico é radialmente para fora (direto para fora do centro) em todos os lugares na superfície gaussiana esférica.
- (A) Somente (i)
 - (B) Somente (ii)
 - (C) Somente (iii)
 - (D) Somente (ii) e (iii)
 - (E) Nenhuma das anteriores

Figura 1: Questões 14 e 16 da versão traduzida do teste SGCE.

Em ambas as questões tratamos de duas distribuições de cargas diferentes para analisar o campo elétrico, mas a forma como as questões são apresentadas são distintas e indicam as dificuldades encontradas pelos estudantes. Nas questões temos uma carga 6 C positiva distribuída de forma diferente na superfície de uma esfera isolada oca e isolante (não condutora): são colocadas seis cargas idênticas,

+Q cada uma, na superfície esférica em seis aglomerados localizados de forma que os aglomerados adjacentes estejam equidistantes entre si; no segundo arranjo a carga é distribuída uniformemente pela superfície da esfera.

Na questão de número 14 fazem-se afirmações sobre a magnitude do campo elétrico em os pontos A, B e C equidistantes do centro e no mesmo plano equatorial da esfera, notando como as diferentes distribuições de carga afetam o campo em pontos externos mesmo com as cargas sendo distribuídas em objetos de mesma simetria.

Os alunos de introdução ao eletromagnetismo, tópicos de eletromagnetismo e da pós em ensino de física obtiveram médias de acerto de 70%, 100% e 31% respectivamente na questão, o que demonstra que essa abordagem de simetria e campo é relativamente bem consolidada pelos alunos.

Já a questão 16, trata do primeiro arranjo de distribuição, onde são colocadas seis cargas idênticas na superfície esférica em seis aglomerados. A questão propõe, então, que duas superfícies gaussianas concêntricas, uma esférica e outra cúbica, sejam usadas para analisar a magnitude e direção do campo. São feitas, novamente, afirmativas que exploram os conceitos de simetria cúbica e esférica e espera-se que o estudante consiga identificar a diferença entre simetria do objeto onde as cargas são distribuídas e a simetria da distribuição em si.

Os alunos de introdução ao eletromagnetismo, tópicos de eletromagnetismo e da pós em ensino de física obtiveram médias de acerto de 8%, 25% e 8% respectivamente na questão, indicando a dificuldade de compreender o comportamento do campo nas diferentes análises e como o conceito de simetria de fato deve ser aplicado para utilizar-se da Lei de Gauss de forma correta. É importante ressaltar, também, que essa questão apresenta uma dificuldade adicional devido ao fato que todas as afirmativas feitas serem incorretas, fazendo com que a resposta certa seja "Nenhuma das anteriores", o que tradicionalmente gera certa desconfiança no estudante ao realizar um teste.

A escolha dessas duas questões para nosso estudo não foi aleatória. A questão 16 é a questão mais difícil (com menor índice de acerto) para estudantes de eletromagnetismo e é uma questão bem semelhante à questão 14 - a distribuição de carga é a mesma, mas são apresentadas gaussianas esférica e cúbica, que adicionam um nível de dificuldade maior e ressaltam a confusão de que simetria presente na gaussiana não é simetria presente na distribuição de carga.

Considerações Finais

Ao observar o resultado da pesquisa, ainda preliminar, pode-se perceber algumas das principais dificuldades enfrentadas pelos alunos no processo de aprendizagem de simetria e lei de Gauss. Um dos principais resultados desse processo vem da similaridade das médias obtidas pelos alunos de Introdução ao Eletromagnetismo e aqueles da Pós Graduação em ensino de física. Percebe-se que, sem uma prática e contato constantes com o tópico, o nível de conhecimento em eletromagnetismo que permanece com aqueles que terminam o curso de graduação em física é compatível com os alunos que cursaram a primeira cadeira de graduação que aborda o tema.

Os resultados do pré e pós teste da turma de Tópicos de Eletromagnetismo nos mostram o avanço no nível de compreensão dos estudantes. Mesmo o resultado só do pré-teste de Tópico de Eletromagnetismo sugere que há um avanço conceitual em relação aos estudantes de Introdução a Eletromagnetismo.

Como uma pesquisa diagnóstica, este trabalho é ainda inicial cujo objetivo é desvendar com mais profundidade as dificuldades conceituais em simetria e lei de Gauss dos estudantes brasileiros. Os resultados dessa pesquisa sugerem a necessidade de um material instrucional baseado em pesquisa que permita um aprofundamento da aprendizagem conceitual de lei de Gauss, para além de um método de cálculo de campo elétrico em situações específicas.

Referências

- ARAUJO, I.; VEIT, E.; MOREIRA, M.. Simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss para a eletricidade e da Lei de Ampère em nível de Física Geral. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. Porto Alegre, RS, vol. 6, n. 3, p. 601-629, 2007.
- GOLDMAN C., LOPES, E.; ROBILOTTA M. R.. Um pouco de luz na Lei de Gauss. *Revista de Ensino de Física*. São Paulo, SP, v. 3, p. 3-15. 1981.
- HALLIDAY ADAMS, W. K.; WIEMAN, C. E.. Development and Validation of Instruments to Measure Learning of Expert-Like Thinking. *International Journal Of Science Education*, [s.l.], v. 33, n. 9, p.1289-1312, 27 out. 2010. Informa UK Limited.
- HALLIDAY, D. ; RESNICK, R. ; WALKER, J. . **Fundamentos de física: Eletromagnetismo**. 12. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2023.
- KRAPAS, S.; ALVES, F.; CARVALHO, L. R.. Modelos mentais e a Lei de Gauss. *Investigações em Ensino de Ciências*. Rio de Janeiro, RJ, v. 5, p. 7-21, 2000.
- LI, J.; SINGH, C.. Investigating and improving introductory physics students' understanding of symmetry and Gauss's law. **European Journal of Physics**, v. 39, n. 1, p. 015702, 2017.
- LI, J.; SINGH, C.. Investigating and improving introductory physics students' understanding of electric field and the superposition principle: The case of a continuous charge distribution. **Physical Review Physics Education Research**, v. 15, n. 1, p. 010116, 2019.
- MADSEN, A.; MCKAGAN, S. B.; SAYRE, E. C.. Resource Letter RBAI-1: Research-Based Assessment Instruments in Physics and Astronomy. *American Journal Of Physics*, [s.l.], v. 85, n. 4, p.245-264, abr. 2017. American Association of Physics Teachers (AAPT).
- MOREIRA, M. A.; KREY, I. 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*, v. 28, n. 3, p. 353–360, 2006.
- MOREIRA, M. A.. **Teorias de Aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: E.p.u., 2011. 248p.

PURCELL, E. M.; MORIN, D. J.. **Electricity and Magnetism**, 3a ed.. Harvard University, Massachusetts, 2013.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W. ; YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III: Eletromagnetismo**. 14. ed. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, 2015.

SINGH, C.. Student understanding of symmetry and Gauss's law of electricity. *American Journal of Physics*, v. 74, n. 10, p. 923-936, out. 2006.

SINGH, C.. Symmetry and Gauss's Law Conceptual Evaluation (SGCE). Disponível em: <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=SGCE>

VIENNOT, L.; RAINSON, S.. Students' reasoning about the superposition of electric fields. *International Journal Of Science Education*, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 475-487, out. 1992. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/0950069920140409>.

VIENNOT, L.; RAINSON, S. Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 1, p. 1-16, 1999.