

ABORDAGEM DE CONCEITOS INTRODUTÓRIOS DE ELETROSTÁTICA BASEADA NA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Approach to Introductory Concepts of Electrostatics Based on Meaningful Learning Theory

Fernanda Dias Gonçalves (fernanda.gtrue@gmail.com)

Escola Estadual Ana Mendes Pereira Dutra, São Pedro do Avaí - MG
Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Bernardo Horta, Irupi - ES

Giuseppi Camiletti (giuseppi.ufes@gmail.com)

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - Polo 12 MNPEF
Av Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória-ES CEP 29.075-910

Recebido em: 06/09/2023

Aceito em: 19/12/2023

Resumo

Este trabalho descrever as atividades desenvolvidas e aplicadas em sala ao longo de 12 aulas de 50 minutos, para o ensino de conceitos introdutórios de eletrostática, a alunos de Ensino Médio, tendo como base os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). A estruturação das atividades levou em consideração os conhecimentos prévios dos alunos, a relacionabilidade dos conteúdos com o uso de experimentos e simulações, a consolidação dos conteúdos com a discussão de testes conceituais, a resolução de problemas e exercícios. Os resultados mostram que os alunos se mantiveram atentos, participativos e tiveram grande apreço pelo uso dos experimentos. O simulador PheT Colorado também foi muito bem recebido devido a forma dinâmica de visualizar e interagir com os fenômenos em estudo. Os testes conceituais suscitaram discussões de boa qualidade e foram elogiadas por praticamente todos os discentes. A proposição do problema aberto se mostrou muito eficiente para envolver os alunos. O resultado da avaliação evidenciou um desempenho superior ao constatado anteriormente na disciplina de Física, sugerindo os impactos positivos para a melhoria da qualidade do aprendizado dos conceitos Físicos estudados.

Palavras-Chave: Experimentos; Eletrostática; Produto Educacional.

Abstract

This paper describes the activities developed and applied in the classroom over 12 classes of 50 minutes each, for teaching introductory electrostatic concepts to high school students, based on the assumptions of the Theory of Meaningful Learning (TAS). The structuring of the activities took into account the students' previous knowledge, the relationability of the contents with the use of experiments and simulations, the consolidation of the contents with the discussion of conceptual tests, the resolution of problems and exercises. The results show that the students remained attentive, participative and had great appreciation for the use of experiments. The PheT Colorado simulator was also very well received due to the dynamic way of visualizing and interacting with the phenomena under study. The conceptual tests raised good quality discussions and were praised by virtually all students. The proposition of the open problem proved to be very efficient to involve the students. The result of the evaluation evidenced a performance superior to that previously observed in the discipline of Physics, suggesting the positive impacts for the improvement of the quality of learning of the Physics concepts studied.

Keywords: Experiments; Electrostatic; Educational Product.

1 - Introdução

O objetivo deste trabalho é descrever atividades desenvolvidas e aplicadas em sala de aula para o ensino de conceitos introdutórios de eletrostática a alunos do Ensino Médio, tendo como base os pressupostos teóricos da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003), visando promover uma aprendizagem de melhor qualidade aos estudantes. Estas atividades compõem parte do Produto Educacional da autora principal, aluna do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física, matriculada no Polo 12 UFES.

As atividades desenvolvidas constituem 12 aulas aplicadas concomitantemente em turmas diferentes de escolas distintas, uma localizada no Estado de Minas Gerais e a outra no Estado do Espírito Santo. Esta situação, de certa forma inusitada, foi possível pois a professora e autora principal deste trabalho reside numa cidade localizada na divisa dos Estados e trabalha nas duas escolas, ambas da rede pública. Elas estão localizadas em uma região que se destaca pela produção e colheita do café de alta qualidade, sendo a principal fonte de renda dos moradores.

2 - Fundamentação Teórica

O desenvolvimento das atividades em sala de aula levou em consideração os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) (Ausubel, 2003; Moreira, 2016). Para Ausubel, o aprendizado de um determinado conteúdo deve ocorrer quando as ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-litera, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende.

Este princípio básico pode ser utilizado como ponto de partida para as atividades em sala de aula. Portanto, a primeira preocupação do professor deve ser o mapeamento dos conhecimentos prévios dos alunos, para poder ensiná-los de acordo. Em seguida, o professor deverá providenciar o uso de diferentes recursos instrucionais com o objetivo de promover a relacionabilidade dos conteúdos que pretende ensinar com os conhecimentos prévios dos alunos. Por fim, como decorrência natural do primeiro e mais importante pilar proposto por Ausubel, o ensino de novos conteúdos será conhecimento prévio para novos aprendizados. Então, o professor deverá promover atividades de consolidação dos conteúdos. Como o aprendizado de novos conteúdos é lento, com avanços e retrocessos, nesta etapa os alunos devem ser expostos a atividades que oportunizem a negociação de significados aluno-aluno e aluno-professor (Moreira, 2016) do conteúdo que está sendo estudado.

Uma forma de colocar em prática o primeiro pressuposto de Ausubel em sala de aula, é buscar artigos com o mapeamento de concepções alternativas dos alunos, vastamente disponíveis na literatura, realizados por pesquisadores em diferentes partes do mundo. Embora não se constitua de um mapeamento das concepções dos próprios estudantes, os resultados destes levantamentos apontam que eles são muito parecidos, independente do país, região geográfica ou condição social dos alunos (Shipstone, 1984, 1988; Driver et. al., 1994, 1996; Cepni & Keles, 2006). Esta estratégia foi utilizada neste trabalho.

O segundo pressuposto, de promover a relacionabilidade entre o que se pretende ensinar e aquilo que o aluno já sabe, pode ser viabilizado a partir da organização sequencial do conteúdo, iniciando-se a exposição a partir de exemplos e situações que façam parte do cotidiano do estudante em direção ao formalismo conceitual necessário para sua explicação. Em seguida, o professor deve utilizar diferentes recursos instrucionais, seja para a exposição do conteúdo e/ou para aproximar os estudantes do fenômeno que se pretende estudar. Pode-se lançar mão de experimentos, vídeos, simulações, aplicativos de celular, Arduíno, entre outros. Independentemente do recurso a ser utilizado, é

importante que as atividades promovam interações de boa qualidade entre os estudantes e entre os estudantes e o professor. Vygotsky (1987) defende que o aprendizado de boa qualidade pode ocorrer a partir de interações com um parceiro mais capaz. A estruturação e uso destes recursos em sala de aula, tendo em vista a proposição de Vygotsky, pode seguir as orientações propostas por Gaspar (2014).

O terceiro pressuposto estabelece a necessidade de consolidação dos conteúdos. Segundo Moreira (2016), os alunos devem ser expostos a situações onde eles possam negociar significados acerca do que estão aprendendo em sala de aula. Uma atividade capaz de promover a discussão entre os alunos, e de fácil implementação em sala de aula, é a utilização de testes conceituais de múltipla escolha, de acordo com o método de Instrução pelos Colegas (Araújo & Mazur, 2013). Os testes devem ser aplicados imediatamente após a explanação e introdução de novos conteúdos aos alunos. Os autores sugerem que os testes sejam selecionados preferencialmente de vestibulares e ENEM. Resumidamente, o método consiste em apresentar o exercício conceitual de múltipla escolha aos alunos (que pode ser feito usando datashow conectada ao computador) aguardando entre 1 e 3 minutos para que eles escolham individualmente a resposta que consideram correta. Em seguida, é dado um tempo para que discuta sua opção com outro colega, buscando convencê-lo a mudar de resposta. Após uns 5 minutos, é dada uma nova oportunidade para afirmar ou modificar a escolha inicial. Em geral, o percentual de acertos aumenta, pois o aluno com a resposta correta tem maior poder de argumentação e de convencimento acerca da sua opção. Ao final, o professor revela a resposta correta, faz um breve comentário sobre o conteúdo envolvido e passa para o próximo teste. Toda essa dinâmica deve ocorrer somente se na primeira votação o percentual de acertos estiver entre 30 e 70%. Outras atividades bem planejadas também têm o potencial de proporcionar a consolidação dos conteúdos. A realização de um experimento em sala de aula (seja ele demonstrativo ou executado pelos estudantes), deve ser feita a partir de um roteiro com perguntas prévias e levantamento de hipóteses, seguida de execução do experimento, testagem das hipóteses e discussão dos resultados (Gaspar, 2014). Isso vale também para o uso de vídeos, simuladores ou qualquer outro recurso instrucional. Por fim, a resolução tradicional de problemas ou de desafios também pode proporcionar momentos de negociação de significados.

Por fim, o processo de ensino-aprendizagem envolve necessariamente a avaliação do conteúdo. No entanto, Ausubel alerta que a aprendizagem não é um processo binário do tipo “sabe” ou “não sabe”, ou do tipo “certo” e “errado”. Trata-se de um processo lento, com avanços e retrocessos. A avaliação deve, portanto, privilegiar o caráter formativo e recursivo. O caráter formativo está relacionado à ação do professor de informar o aluno sobre os erros e equívocos acerca do conteúdo que está sendo avaliado. O caráter recursivo orienta que o professor deve permitir ao aluno refazer a avaliação, pelo menos mais uma vez, visando garantir nova oportunidade de estudo e de, possivelmente, superação das dificuldades e lacunas do conteúdo abordado.

Outra dimensão apontada por Ausubel está relacionado não a uma ação direto do professor ou da escola, mas sim a atitude do aluno em querer aprender um determinado conteúdo. Segundo o autor, não há muito o que se fazer para aumentar ou garantir esse interesse do estudante. Apenas afirma que, por algum motivo, ele precisa estar disposto a aprender de forma significativa o conteúdo que está sendo ensinado.

A próxima seção descreve o contexto da aplicação do material desenvolvido e detalha as atividades propostas de acordo com as orientações deste referencial teórico.

3 - Métodos e Materiais

Este trabalho relata a elaboração e aplicação de 12 aulas sobre o conteúdo introdutório de eletrostática, destinadas a alunos do terceiro ano do Ensino Médio. Estas aulas compõem o Produto Educacional

da autora principal deste trabalho e foram aplicadas em duas escolas da rede pública estadual, de fevereiro a junho de 2023. Embora as duas escolas sejam públicas, acabam por apresentar outros aspectos bem distintos, pois estão localizadas em Estados diferentes. Uma está localizada no distrito de São Pedro do Avai, no Estado de Minas Gerais (MG), a aproximadamente 70 km da divisa com o Espírito Santo, tendo 604 alunos matriculados e sendo a única escola da cidade. A outra localizada em Irupi, no Estado do Espírito Santo (ES), a aproximadamente 20 km da mesma referência, com 794 alunos matriculados. São Pedro do Avai tem aproximadamente 3.500 habitantes e a escola conta com uma única turma com 29 alunos matriculados na 3ª série do Ensino Médio, no turno matutino. A escola não dispõe de espaço físico próprio para práticas experimentais, possui apenas dois datashows para uso de todos os professores e rede de internet que só funciona em algumas salas. Já a cidade de Irupi tem aproximadamente 13.700 habitantes, tendo três turmas de 3ª série do Ensino Médio. Mas apenas uma está sob responsabilidade da autora principal deste trabalho e conta com 25 alunos matriculados no turno vespertino. Esta escola tem melhor infraestrutura, dispondo de laboratório para a realização de atividades experimentais, espaço físico amplo, televisor em todas as salas e chromebook fornecidos pelo Estado para todos os alunos. Apesar das divergências entre as escolas, os estudantes do Estado de Minas têm se mostrado mais interessados e participativos nas aulas. Em ambas as escolas, os alunos têm idade entre 15 e 18 anos e boa parte dos mesmos exercem atividade remunerada no contra turno escolar como forma de auxiliar na renda da família, sendo este último aspecto mais prevalente na escola de Minas Gerais.

Os pressupostos da Aprendizagem Significativa, discutidos na seção anterior, orientaram a elaboração e realização das 12 aulas. Inicialmente, foi feita uma busca na literatura de artigos com relatos de concepções alternativas de estudantes sobre os conceitos introdutórios de eletrostática. Uma síntese das principais respostas está mostrada abaixo:

- ✓ Ao friccionar dois objetos, um deles perde toda energia (carga elétrica) enquanto o outro ganha a energia (Avancini, Jardim & Grigoli, 2001);
- ✓ A força elétrica é linearmente proporcional à distância (Moynihan, 2018);
- ✓ Os pneus oferecem proteção contra raios (Shimizu, Horii & Pacca, 2013).

A partir destas concepções e também dos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2003), foram desenvolvidos roteiros experimentais, roteiros para uso de simuladores, apresentação de vídeos curtos, todos para serem utilizados em sala de aula (Gaspar, 2014), resolução de problemas abertos (Oliveira, Araújo & Veit, 2020) e discussão de testes conceituais de acordo com o método de instrução pelos colegas (Araújo & Mazur, 2013). Para viabilizar um ambiente de interação propício à negociação de significados, os alunos foram agrupados entre 4 e 6 integrantes para a realização da maioria das tarefas propostas. As concepções alternativas mapeadas orientaram a definição de questionamentos nos roteiros, nas opções de respostas de alguns testes conceituais e também em algumas questões da prova. O trabalho de Pazzini Alves & Autor X1 (2022) também foi utilizado como referência para o delineamento das atividades do Produto Educacional da autora principal deste artigo.

As atividades que buscam promover a relacionabilidade entre o que se pretende ensinar e aquilo que o aluno já sabe, foram baseadas nas orientações de Gaspar (2014). O autor aponta que toda prática experimental deve ser orientada pelo professor, a partir de um roteiro previamente elaborado, contendo perguntas (que podem vir antes, durante e/ou após a realização do experimento), com possível levantamento de hipóteses (contidos no próprio roteiro ou apresentadas pelos estudantes), seguida de execução do experimento, testagem das hipóteses e discussão dos resultados. O que mais importa, neste processo, é que sejam criadas condições para que ocorram interações de boa qualidade entre os estudantes, de preferência com a presença de um parceiro mais capaz (Vygostsky, 1987), que pode ser um colega de grupo ou mesmo o professor da disciplina. Embora a proposta de Gaspar (2014) se relacione à realização de experimentos, também pode ser usada para a utilização de

simuladores, vídeos e demais recursos instrucionais em sala de aula. Ao longo das 12 aulas, foram desenvolvidas 10 atividades experimentais. Apenas como ilustração, descreve-se aqui o “pêndulo eletrostático”, que foi uma das atividades experimentais levada para a sala de aula para ser desenvolvida com os alunos, com o objetivo de discutir os processos de eletrização. A montagem é constituída de palitos de churrasco, uma pequena base, supercola, um pequeno pedaço de papel alumínio preso a uma linha, montado de acordo com as orientações contidas no vídeo https://www.youtube.com/watch?v=IKIUbg9o4_4. Na Figura 01 abaixo é apresentado o passo a passo para a realização do experimento:

Em posse do pêndulo, faça o seguinte:

- Aproximar o canudo do pêndulo e observar que nada acontece;
- Esfregar toda a extensão do canudo algumas vezes em um pedaço de papel;
- Aproximar do papel alumínio no pêndulo e constatar a atração devido à eletrização;
- Segurar o canudo e o papel alumínio do pêndulo com as mãos, por pelo menos 5 segundos (esse passo é para deixá-los neutros)
- Colocar o objeto metálico (a tampa) na ponta do segundo canudo;
- Fixar o objeto metálico (pode ser com fita adesiva ou outro tipo de fita);

O que acontecerá se aproximarmos o segundo canudo (com a parte metálica) do pêndulo, sem encostar?

Faça e verifique o que ocorre. (Espera-se que não ocorra nada)

Figura 01: Print da tela com o roteiro de utilização de um experimento de eletrização.

Juntamente com o experimento, foi elaborado um roteiro com perguntas entregue aos alunos, para serem respondidas ao mesmo tempo em que o experimento é realizado. A Figura 02 abaixo mostra o roteiro disponibilizado:

Parte 01 – Eletrização por contato

- O que acontecerá se aproximarmos o segundo canudo (com a parte metálica) do pêndulo, sem encostar?

Parte 02 – Eletrização por contato

- O que você acha que vai acontecer se aproximar o segundo canudo do pêndulo, sem encostar? Porque?
- Agora faça o experimento e observe o que realmente acontece. Está de acordo com o que você escreveu? Discuta com seus colegas e com o professor o resultado encontrado.

Parte 03 – Eletrização por contato

- O que você acha que vai acontecer se aproximar o canudo com objeto metálico do pêndulo, sem encostar?
- Agora faça o experimento e observe o que realmente acontece. Está de acordo com o que você escreveu? Discuta com seus colegas e com o professor o resultado encontrado. Se for o caso, reescreva sua resposta à questão anterior.

Parte 04 – Eletrização por indução

- O que você acha que vai acontecer se aproximar o canudo com a parte metálica do pêndulo (que já estava eletrizado de passos anteriores)?
- Agora faça o experimento e observe o que realmente acontece. Está de acordo com o que você escreveu? Discuta com seus colegas e com o professor o resultado encontrado. Se for o caso, reescreva sua resposta à questão anterior.

Figura 02: Print da tela com o roteiro entregue aos alunos, contendo as orientações a serem seguidas e questionamentos a serem respondidos durante a execução dos experimentos sobre os processos de eletrização.

Foram utilizados também simuladores computacionais do PheT Colorado para aprofundar a discussão sobre os processos de eletrização. A Figura 03 abaixo ilustra o roteiro para o uso do simulador “John Travoltagem”, disponível em (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/john-travoltage):



Faça com que o John Travolta esfregue o pé no tapete e discuta com seus colegas que acontece:

- ✓ Em relação ao número de cargas;
- ✓ Em relação a movimentação das cargas;
- ✓ Em relação ao descarregamento.

Figura 03: Print de tela com o roteiro para o uso do simulador “John Travoltagem” do PheT Colorado.

Outro tipo de atividade estruturada foi a proposição de resolução de problemas abertos, na perspectiva defendida por Oliveira, Araujo & Veit (2020). Segundo os autores, ao buscar a solução de problemas abertos, o aluno está sendo desafiado a aplicar seus conhecimentos de forma criativa para encontrar possíveis soluções. Essa abordagem estimula a reflexão, o raciocínio lógico e a capacidade de resolver problemas complexos, promovendo uma aprendizagem mais profunda e duradoura. Um problema proposto aos alunos foi extraído do site do CREF (<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=por-que-estou-tomando-choques-ao-encostar-na-porta-do-meu-carro>). Segue na Figura 04 abaixo um print do roteiro apresentado aos alunos com as orientações para auxiliar na resolução do problema:

Por que estou tomando choques ao encostar na porta do meu carro?

De uns tempos pra cá, sempre ao sair do carro, tomo choque ao bater a porta! A física explica? Detalhes Adicionais: Tem vez que dá uns choques fortes, até ouço um estalo! To começando a bater a porta com o pé, é meio ridículo, mas eu não gosto de tomar choques....

Orientações para os alunos:

Em grupos de 4 ou 5 alunos, procurem elaborar a solução para o problema apresentado, levando em consideração os seguintes aspectos:

- a) Quais as grandezas físicas estão presentes nesta situação?
- b) Quais fatores podem interferir na resolução do problema? Exemplos:
 - O material da maçaneta deve ser levado em consideração?
 - Se eu estiver descalço também tomarei choque?
 - Se meu calçado for de borracha, haverá choque? Maior, menor ou não tem influência?
 - Num dia chuvoso, haverá choque? Porque?
 - Como sair do carro de forma segura? (Sem sentir choque?)
 - Quais processos de eletrização estão presentes?
 - Compare e discuta a solução proposta com outros grupos, explicitando os caminhos utilizados para solucionar o problema.

Figura 04: Print da tela com o roteiro apresentando o problema aberto e as orientações para sua discussão e a busca da solução.

Embora os diferentes recursos instrucionais discutidos acima tenham sido propostos com o objetivo principal de promover a relacionabilidade entre os conteúdos que se pretende ensinar e aquilo que o aluno já sabe, eles também podem desempenhar um papel importante na consolidação dos conteúdos. Esta dimensão pode ser observada a partir das perguntas e das situações que demandam interações aluno-aluno e alunos-professor para serem resolvidas.

Portanto, para complementar as atividades de consolidação, foram realizados testes conceituais com os estudantes, de acordo com o método de Instrução pelos Colegas, proposto por Araújo e Mazur (2013), com o uso do aplicativo Plickers, disponível gratuitamente em www.plickers.com. Neste método o professor faz uma breve exposição do conteúdo e logo em seguida propõe questões conceituais de múltipla escolha para que toda a turma possa responder de forma individual escolhendo uma das alternativas. Os autores sugerem que os testes sejam selecionados preferencialmente de vestibulares e ENEM. Após essa primeira escolha eles precisam discutir com outro(s) colega(s) que escolheu(ram) outras respostas, buscando o convencimento mútuo. Após a discussão, abre-se uma nova possibilidade, onde o estudante pode manter ou escolher outra resposta. Em geral, o número de acertos aumenta após as discussões, pois o aluno que acertar a questão na primeira tentativa tende a ter mais argumentos ao apresentar seu ponto de vista na discussão com o colega. Ao final de toda esta dinâmica o professor exhibe para toda a turma a resposta correta e pontua algumas considerações pertinentes a cada questão. Um exemplo de questão utilizada está mostrado abaixo:

(Fuvest - Adaptado) A lei de conservação da carga elétrica pode ser enunciada como segue:

- a) A soma algébrica dos valores das cargas positivas e negativas em um sistema isolado é constante.*
- b) Um objeto eletrizado positivamente ganha elétrons ao ser aterrado.*
- c) A carga elétrica de um corpo eletrizado é igual a um número inteiro multiplicado pela carga do elétron.*
- d) O número de átomos existentes no universo é constante.*

Ao final de cada conjunto de aulas, alguns exercícios foram resolvidos com os alunos e também foi sugerida uma lista de exercícios para serem resolvidos em casa. O livro texto utilizado como apoio para esta atividade foi: Alvarenga, B. & Máximo, A. **Física Ensino Médio**. Vol 3. Editora Scipione. São Paulo-SP 2006, 1ª edição.

A avaliação do conteúdo foi realizada por diferentes instrumentos em cada escola. Na escola do Espírito Santo, a prova é elaborada pela Superintendência Regional de Ensino, ligada à Secretaria de Estado de Educação (SEDU), para todas as escolas sob sua jurisdição. O professorado, de modo geral, não participa da elaboração deste instrumento de avaliação. Por isso, não necessariamente as questões estarão totalmente em sintonia com o conteúdo que cada professor da rede de ensino está ministrando em sala de aula no momento em que a prova é aplicada. Elas ocorrem no início e no fim de cada trimestre, tendo como objetivo principal preparar os estudantes para a prova do Programa de Avaliação da Educação Básica do Espírito Santo (Paebes), criado em 2000. Este programa visa avaliar a qualidade da educação básica da rede pública estadual, municipal e privada do Estado do Espírito Santo. Mais detalhes sobre o Paebes podem ser conferidos em <https://sedu.es.gov.br/paebes>.

Já na escola de Minas Gerais, a avaliação individual foi elaborada pela professora da turma, contendo quatro questões conceituais e cinco questões quantitativas, todas de múltipla escolha, envolvendo os conceitos de carga elétrica, processos de eletrização e força elétrica. As questões da prova foram embaralhadas, tanto na ordem das questões quanto nas alternativas de respostas, desestimulando o aluno a observar a prova do seu colega ao lado ou a frente. A formatação da prova foi feita com auxílio do aplicativo *Gradepen* disponível em <https://www.gradepen.com/>, que permite também um rápido processo de correção de questões de múltipla. O aplicativo gera um gabarito associado a um QRCode onde o aluno deve marcar suas respostas. O professor pode então fazer a correção automática com seu aparelho celular, escaneando o código/gabarito com a câmera. O aplicativo é pago, de modo que o professor deve adquirir pacotes que permitem a correção de número definido de provas.

A próxima seção descreve os principais resultados e discussões obtidos a partir da aplicação do Produto desenvolvido no contexto das 12 aulas alocadas para as atividades.

4 - Resultados e Discussões

Os dados foram coletados pelo professor a partir das respostas dos alunos às questões discursivas presentes nos roteiros experimentais, do relatório gerado pelo Aplicativo Plickers, das anotações do professor e do desempenho da prova individual. Todos os alunos assinaram um termo de consentimento a respeito do uso dos dados com fins científicos e acadêmicos. Os dados coletados são constituídos de aspectos fundamentais para avaliação do progresso dos alunos e da eficácia das estratégias e dos materiais adotados pelo docente.

As atividades experimentais em sala de aula, com o uso dos roteiros, se mostraram eficientes e bem aceitas pelos estudantes, contribuindo para manter o foco e interesse durante as aulas, até mesmo daqueles que por muitas vezes se mostram indiferentes, corroborando os resultados encontrados por Pazzini Alves & Autor X1 (2022). Em alguns momentos específicos de realização de práticas experimentais, como a prática do desvio do filete de água (eletrização) e a chamada de celular não completada (blindagem eletrostática), foi possível arrancar expressões das turmas como: “*Isso é macumba!*” Em outro momento, foi possível perceber também o enfraquecimento de algumas concepções alternativas, na medida que muitos alunos passaram a entender que os pneus apenas dificultam o caminho da descarga elétrica para a Terra, mas não são os verdadeiros responsáveis pela proteção que os carros oferecem em relação aos raios.

Durante o uso do simulador PheT Colorado, um aluno questionou se o simulador havia sido construído por causa dos estudantes (só para usar com eles). Nos dois Estados, houve manifestações de interesse de alunos em utilizar o simulador em casa, com interesse em aprender a usar e brincar com as simulações em casa, pois não conheciam esse recurso.

Ao longo das aulas, a professora notou também uma mudança no discurso dos alunos, que antes era permeado de palavras negativas do tipo: “...*Física, oh matéria chata!*”. A atividade onde foi proposta a resolução do problema aberto provocou excelentes discussões, levando-os a buscar soluções criativas para resolvê-lo e pensando no fenômeno de uma forma não habitual. Um diálogo entre dois alunos está transcrito abaixo:

Aluno A: Não tem como tomar choque encostando no carro, porque os pneus são isolantes e não deixam ele eletrizar.

Aluno B: Se você encostar na lataria eletrizada, sim. Pois o corpo humano é condutor e você será o fio terra.

Aluno A: Não inventa. Eu nunca tomei e venho de ônibus todos os dias!

Aluno B: Mas a maior parte do carro (lataria) é condutora e como são materiais diferentes (ar e lataria) eletrizam por atrito. Você nunca tomou porque aqui é frio (úmido), esqueceu?

Aluno A: Então onde dá certo? No nordeste dá certo?

Aluno B: Eu acho que sim, já que lá o clima é mais seco.

Pode-se notar o processo de discussão estabelecido, com a elaboração de hipóteses, busca de explicações e aprofundamento do entendimento, levando a argumentos mais bem elaborados do ponto de vista científico, evidenciando o potencial desta atividade para a negociação de significados (Moreira, 2016) e a consequente consolidação do conteúdo proposta por Ausubel (2003).

As atividades de discussão de testes conceituais também visaram a consolidação dos conteúdos (Ausubel, 2003). Elas foram realizadas de acordo com o método de Instrução pelos colegas (Araújo & Mazur, 2013), com uso do Aplicativo Plickers e se mostraram bem aceitas por praticamente todos os alunos, mais uma vez corroborando os resultados de Pazzini Alves & Autor X1 (2022). Os estudantes demonstraram grande interesse em participar das votações e curiosidade pelo seu funcionamento, sentiram-se importantes em visualizar o seu respectivo nome na tela, após a leitura do QRCode. Apenas como ilustração, foi realizada uma análise quantitativa da distribuição de respostas da questão conceitual apresentada na seção anterior (adaptada do vestibular da FUVEST). O resultado da primeira votação teve um índice de acertos de 46% com os alunos da escola de MG.

Após a discussão entre pares, o índice aumentou para 58% de acertos. Já na escola do ES, na primeira votação o índice foi 50% e na segunda, aumentou para 93%. Comportamento parecido também foi registrado com as demais questões conceituais apresentadas aos alunos utilizando este método. Estes valores evidenciam o potencial desta metodologia no sentido de proporcionar uma melhoria no entendimento dos estudantes sobre o conceito físico presente na questão.

Sobre as listas de exercícios sugeridas aos alunos para serem resolvidos em casa, observa-se que a resolução de exercícios quantitativos (que necessitam do uso de fórmulas) é realizada com sucesso quando são muito parecidos com aqueles resolvidos pelo professor em sala de aula. Como exemplo, o professor resolveu no quadro um problema buscando descobrir o valor da força elétrica entre dois corpos carregados. Em seguida, propôs a resolução de um problema parecido, mas agora solicitando o cálculo de uma das cargas. Além de algumas dificuldades com operações matemáticas básicas, notou-se que a maioria deles, tanto em uma escola quanto na outra, teve dificuldade e precisou da ajuda do professor para cumprir a tarefa. Uma explicação para esta situação pode ser a prática ainda comum em sala de aula em que os alunos estão expostos, que é a de promoção de atividades de replicabilidade mecânica daquilo que foi apresentado pelo professor, levando os alunos a uma aprendizagem mecânica, na visão de Ausubel (2003). Quando são solicitados a resolverem situações um pouco diferentes do contexto explicado pelo professor, acabam por ficarem desestimulados e sem motivação para encontrarem a solução.

Sobre os resultados da avaliação individual realizada com os alunos do Espírito Santo, os resultados da prova padronizada foram apresentados aos estudantes e as questões com maior índice de erros foram discutidas com os alunos. No entanto, como a prova continha questões sobre circuitos elétricos e medidas de grandezas, que não estavam diretamente relacionadas ao conteúdo em estudo, acabou não gerando resultados relevantes para serem analisados no escopo deste artigo.

Para os alunos da escola de Minas Gerais, após a correção da prova e divulgação dos resultados, a professora fez a correção das questões em sala de aula, buscando esclarecer os erros cometidos pelos estudantes e ao mesmo tempo ressaltando os conceitos que ainda não estavam devidamente compreendidos e necessitavam de revisão. Esta ação teve o objetivo de pôr em prática o caráter formativo da avaliação defendido por Moreira (2016).

O maior índice de erros ocorreu nas questões quantitativas, com destaque para duas delas. A questão 5 mostrada na Figura 05 abaixo, está relacionada à concepção alternativa de que a força elétrica seja linearmente proporcional à distância. Dos 28 estudantes, apenas 12 acertaram. Já na questão 6, também relacionada a esta mesma concepção alternativa, apenas 10 alunos acertaram. De todo modo, as notas das provas variaram de 1,7 a 10,0 e o desempenho médio da turma de 67%, revelando-se um ótimo índice, segundo a professora da turma, sendo superior ao de 50% atingido em avaliações anteriores na disciplina de Física desta mesma turma, sem o uso dos recursos e atividades aqui relatadas. Este resultado sugere os impactos positivos do conjunto de atividades desenvolvidas, tendo como base os pressupostos da teoria da Aprendizagem Significativa.

Q.5 (1.50) - (PUC) Seja F a intensidade da força de atração elétrica entre duas partículas carregadas com cargas $+q$ e $-q$, separadas por uma distância d . Se a distância entre as partículas for reduzida para $d/3$, a nova intensidade da força de atração elétrica será:

- a) () $6F$
- b) () $F/3$
- c) () $F/9$
- d) () $9F$
- e) () $3F$

Figura 05: *Questão 05 da prova individual aplicada aos alunos da escola de Minas Gerais.*

Por fim, de posse dos resultados da prova e também das interações entre os estudantes durante o uso dos roteiros elaborados para orientar a realização das práticas experimentais, foi possível constatar ainda a persistência de muitas concepções alternativas sobre os conteúdos em estudo, reforçando os resultados já relatados na literatura de que elas são muito resistentes à mudança e de que independem de país, região geográfica ou condição social dos alunos (Shipstone, 1984, 1988; Driver et. al., 1994, 1996; Cepni & Keles, 2006).

5 - Considerações Finais

O objetivo deste trabalho foi descrever as atividades desenvolvidas e aplicadas em sala de aula para o ensino de conceitos introdutórios de eletrostática a alunos do Ensino Médio, tendo como base os pressupostos teóricos da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003), visando promover uma aprendizagem de melhor qualidade aos estudantes. Estas atividades compõem parte do Produto Educacional da autora principal, aluna do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física, matriculada no Polo 12 UFES.

Nas aulas em que se utilizaram experimentos com roteiros previamente preparados, verificou-se que os estudantes tiveram grande apreço pelo uso desse recurso, levando-os a querer entender a explicação do fenômeno que estavam presenciando. Eles se mantiveram atentos e mais participativos durante o desenvolvimento das práticas. O simulador PheT Colorado foi visto como uma novidade pelas turmas. Muitos solicitaram que houvessem mais aulas com esse recurso, por ser uma forma dinâmica de visualizar, interagir e aprender o conteúdo.

Os testes conceituais suscitaram discussões de boa qualidade entre os estudantes e os deixaram entusiasmados a querer participar da aula, por se sentirem parte do processo, visualizando seu nome na tela projetada, sendo este recurso muito elogiado por quase todos os discentes das duas escolas. A resolução do problema aberto foi capaz de gerar discussões bastante acaloradas no próprio grupo e também com os demais grupos, promovendo reflexões criativas para solucionar o problema proposto. Esta estratégia se mostrou muito produtiva para envolver os alunos na discussão e aprofundamento do conteúdo e certamente é uma prática a ser incorporada nas estratégias pedagógicas dos professores em suas aulas.

O resultado da avaliação evidenciou um desempenho superior ao constatado em avaliações anteriores na disciplina de Física dos alunos de Minas Gerais, sugerindo os impactos positivos para a melhoria da qualidade do aprendizado dos conceitos Físicos estudados.

6 - Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio parcial da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos também a todos os alunos participantes deste estudo e a direção das escolas Ana Mendes Pereira Dutra e Bernardo Horta.

7 - Referências

- ALVES, D. P.; AUTOR X1. Atividades para o ensino de ondulatória baseadas na Teoria da Aprendizagem Significativa. *Revista do Professor de Física*, [S. l.], v. 6, n. Especial, p. 245–254, 2022. DOI: 10.26512/rpf.v1i1.45958. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/45958>. Acesso em: 11 maio. 2023.
- ARAÚJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 30, n. 2, 17 abr. 2013. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2013v30n2p362>.
- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Portugal: Paralelo Editora, 2003.
- AVANCINI, R. M. B.; JARDIM, M. I. D. A. & GRIGOLI, J. A. Ideias de que os alunos lançam mão para explicar problemas relacionados ao cotidiano: esforço do pensamento ou obstáculos ao saber científico? *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 5, n. 3, p. 31-54 diciembre, 2001.
- CEPNI, S.; KELES, E. Turkish students' conceptions about the simple electric circuits. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 4, p.269-291, 2006.
- DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P.; ROBINSON, V. *Making sense of secondary science*. Loudon: Routledge, (1ed), 1994.
- GASPAR A. *Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski*. Editora Livraria da Física. São Paulo – SP. 2014.
- MOYNIHAN, R. *Developing and assessing student's conceptual understanding of electrostatics in upper secondary Physics*. 2018. Tese (Doctor of Philosophy) - School of Physical Sciences, Dublin City University, Dublin, 2018.
- MOREIRA, M. A. *A Teoria da Aprendizagem Significativa*. Porto Alegre, 2016.
- OLIVEIRA, T. E., ARAUJO, I. S., VEIT, E. A. Resolução de problemas abertos como um processo de modelagem didático-científica no Ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 42, e20200043 (2020). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/SXTGFfNMNRywc6z9QTWSTpj/?format=pdf&lang=pt>
- SHIMIZU, S. I.; HORII, C. L.; PACCA, J. L. A. *Ensinando construtivamente conceitos de eletrostática seguindo um planejamento previsto*. In: Atas do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SP, São Paulo; 2013.
- SHIPSTONE, D. M. A study of children's of understanding of eletricity in simple D.C. circuits. *European Journal of Science Education*, v. 6, p.185-198, 1984.

SHIPSTONE, D.M. Pupils understanding of simple electrical circuits. *Physics Education*, v.23, p 92-96, 1988.

VYGOTSKY, L. (1987). *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes. 1ª Ed. Brasileira. 135p.