

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE

CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



ULBRA

A IMPORTÂNCIA DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO TRATO DAS REPRESENTAÇÕES DA ELETROSTÁTICA

Josiane Maria Weiss

Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Canoas, 2006.

À minha família dedico tudo o que faço,
tudo o que sou e tudo o que tenho, em
agradecimento ao amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

- Ao meu marido, Fernando, pelo apoio incondicional e pela presença constante.
- Aos meus pais, pela compreensão nas ausências e incentivo na realização deste trabalho.
- Ao professor Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto, pela paciência, competência e disponibilidade.
- Aos professores Flávia Maria Teixeira dos Santos, Edson Roberto Oaigen, Arno Bayer, Marilaine Fraga Sant'Ana, Renato, Marlise Geller pelas palavras de sabedoria.
- Aos colegas de Mestrado, pelas alegrias e tristezas compartilhadas.
- A direção, colegas, alunos e funcionários da Escola Estadual Gastão Bragatti Lepage, pelos esforços dispensados para que este trabalho se realizasse.
- A direção, colegas, alunos e funcionários da Escola Guia Lopes, pela compreensão, confiança e apoio na realização deste trabalho.
- A direção, colegas, alunos e funcionários da Escola Adão Jaime Porto, pela compreensão nas ausências.
- Ao professor Bernardo Libermann pelas sugestões a este trabalho.
- Ao amigo Gustavo pela disponibilidade e empenho na realização das simulações.
- Aos meus queridos alunos por serem meus companheiros nas dificuldades, compreensivos nos infortúnios, pelas palavras de carinho e fiéis incentivadores da minha qualificação profissional.

*“Tudo vale a pena, se a alma não é
pequena.”*

(Fernando Pessoa)

RESUMO

Este trabalho apresenta uma investigação a respeito da utilização de simulações computacionais no ensino de Física, mais especificamente em eletrostática. Existem muitas dificuldades na aprendizagem dos conceitos que envolvem a eletrostática e a utilização de computadores no ensino já vem sendo pesquisada por muitos autores. Acreditando na possibilidade das simulações serem auxiliares na aprendizagem de conceitos de eletrostática, uma investigação a respeito de suas limitações e possibilidades na tarefa de auxiliar uma evolução conceitual foi realizada. Foram analisados dois grupos de estudantes: experimental e controle. Os estudantes do grupo experimental responderam um pré-teste a fim de averiguar as suas pré-concepções a respeito dos conceitos que envolvem a eletrostática, logo após realizaram atividades de simulações computacionais em conjunto com um guia de utilização, responderam a um pós-teste e, finalmente, foram questionados a respeito de suas respostas em uma entrevista semi-estruturada. O grupo de controle seguiu as mesmas etapas, no entanto não participou das atividades de simulação. Os principais conceitos explorados durante as atividades foram: Força elétrica, Campo elétrico e Potencial elétrico. Estes conceitos foram subdivididos em idéias a fim de verificar mais fielmente a compreensão dos estudantes. A investigação da ocorrência de evolução conceitual foi feita mediante uma análise das respostas dos estudantes nos pré e pós-testes, juntamente com as respostas do guia de simulação e entrevistas. Os resultados desta análise indicaram uma diferença significativa entre os grupos experimental e de controle quando analisadas todas as questões, tendo o grupo experimental apresentado um melhor desempenho, quando as questões foram separadas por conceitos, a diferença mais significativa ocorreu nas questões que dizem respeito ao conceito de Potencial elétrico, tendo ocorrido no grupo experimental uma boa evolução neste conceito. Numa análise mais detalhada observamos que após as atividades de simulação alguns estudantes passaram a utilizar representações que anteriormente não eram utilizadas. Sendo assim, as simulações computacionais mostraram-se eficazes na tarefa de provocar evolução conceitual.

Palavras-chave: simulações computacionais, eletrostática, concepções alternativas, evolução conceitual.

ABSTRACT

This work presents an investigation regarding the use of simulations computacionais in Physics teaching, more specifically in electrostatics. A lot of difficulties exist in the learning of the concepts that you/they involve the electrostatics and the use of computers in the teaching has been researched already by many authors. Believing in the possibility of the simulations be auxiliaries in the learning of electrostatics concepts, an investigation regarding their limitations and possibilities in the task of aiding a conceptual evolution was accomplished. Two groups of students were analyzed: experimental and control. The students of the experimental group answered a pré-test in order to discover their pré-conceptions regarding the concepts that involve the electrostatics, soon after they accomplished activities of simulations computacionais together with an use guide, they answered to a powder-test and, finally, they were questioned regarding their answers in a semi-structured interview. The control group followed the same stages, however it didn't participate in the simulation activities. The main concepts explored during the activities were: He/she forces electric, electric and Potential Field electric. These concepts were subdivided in ideas in order to verify the students' understanding more faithfully. The investigation of the occurrence of conceptual evolution was made by an analysis of the students' answers in the pré and powder-tests, together with the simulation guide's answers and interviews. The results of this analysis indicated a significant difference among the experimental groups and of control when analyzed all of the subjects, tends the presented experimental group a better acting, when the subjects were separate for concepts, the most significant difference happened in the subjects that concern the concept of electric Potential, having happened in the experimental group a good evolution in this concept. In a more detailed analysis we observed that after the simulation activities some students started to use representations that previously were not used. Being like this, the simulations computacionais were shown effective in the task of provoking conceptual evolution.

Keywords: computer simulations, electrostatics, alternative conceptions, conceptual evolution.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 08 |
| 1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS DA PESQUISA | 14 |
| 1.1 Concepções alternativas dos estudantes | 14 |
| 1.2 Concepções alternativas em eletrostática | 14 |
| 1.3 Aprendizagem significativa | 16 |
| 1.4 Mudança conceitual | 16 |
| 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 21 |
| 2.1 Os testes | 22 |
| 2.2 O guia de simulação | 24 |
| 2.3 As entrevistas | 25 |
| 2.4 Caracterização da amostra experimental | 26 |
| 2.5 Aplicação do teste piloto | 27 |
| 3 AS SIMULAÇÕES | 33 |
| 3.1 Aplicações do software Modellus | 33 |
| 3.2 Os experimentos | 34 |
| 4 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS | 39 |
| 4.1 Análise quantitativa | 39 |
| 4.2 Análise qualitativa | 43 |
| 4.3 Influência das simulações computacionais na evolução conceitual | 52 |
| 4.4 Opinião dos estudantes a respeito da atividade | 54 |
| CONCLUSÃO | 56 |
| REFERÊNCIAS | 60 |
| APÊNDICES | 63 |

INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Computadores no ensino de Física

A possibilidade de acesso a computadores e o crescente interesse dos alunos na apropriação de recursos computacionais, leva à questão da utilização de computadores na educação em geral e, em particular, no ensino da Física, fato evidenciado pela quantidade de trabalhos, facilmente disponíveis nos principais periódicos da área. propondo o uso do computador como estratégia de ensino.

Numa tentativa de dar conta da situação problemática que é o ensino de Física, os professores têm freqüentemente utilizado recursos de ilustrações e imagens como complemento ao uso das linguagens verbal, escrita e da matemática. Ao tentarem representar fenômenos dinâmicos através de representações estáticas, vários estudos, inclusive o realizado por Alexandre Medeiros e Cleide Farias de Medeiros (2002) afirmam que em muitos casos essas ilustrações não tem sido de grande ajuda.

Ora, decerto que a utilização de representações como complemento à linguagem verbal é de interesse ao ensino, porém, como lembra Esquembre apud Reis (2003):

Nos anos oitenta comentava-se que antes do ano 2000 o trabalho intensivo com computadores seria o principal modo através do qual o estudante de todos os níveis iria aprender, em todas as áreas do conhecimento. Frente ao entusiasmo da revolução que causaria esta tecnologia na educação, criou-se por parte de muitos educadores, a visão romantizada de que a mera presença do computador aumentaria a aprendizagem dos estudantes. Esta visão era contraposta com a de outros educadores, que consideravam um desperdício de tempo e dinheiro. É importante destacar que os estudantes têm que se ocupar da construção ativa de sua própria representação do conhecimento científico, sendo que os computadores mostram um grande potencial para ajudar nesta construção, se forem adequadamente usados.

Com este foco, nos últimos anos, surgiu um grande número de softwares educacionais para a Física. Dependendo dos princípios de uso, Esquembre (2002) apud Reis (2003) os categoriza em:

- Ferramentas para aquisição de dados.
- Softwares de multimídia e hipermídia.
- Micromundos e simulações.
- Ferramentas de modelagem.
- Telemática e ferramentas da Internet.

Todas as ferramentas supracitadas podem trazer excelentes contribuições para a aprendizagem de teorias e conceitos científicos. Porém a utilização das simulações computacionais tem particular importância por permitir a interação dos estudantes com o software, fazendo “perguntas” ao modelo científico contido na simulação e observando a sua resposta, assim como alterar variáveis e parâmetros destes modelos, e observar o comportamento resultante. Esta possibilidade pode levar à uma situação de aprendizagem onde o aluno efetivamente construa sua própria representação do conhecimento científico. Este trabalho considera que a utilização, em simulações computacionais, de representações utilizadas em Física pode contribuir para que o aluno (re-)construa suas próprias representações do fenômeno estudado. Estas representações, por estarem, dentro da simulação, associadas a um conjunto de regras do tipo “se isto acontecer, faça aquilo” e que são condizentes com as mesmas regras que um cientista, representando o conceito pertinente iria fazer, auxiliam o estudante a adquirir, junto com as representações, estes conjuntos de regras.

Dificuldades e importância do ensino de campo elétrico.

A tarefa do ensino do conceito de campo, em especial campo elétrico, tem sido sobremaneira difícil. Aparecem complicações que se devem às várias razões, explanadas em várias publicações na literatura de ensino de ciências. Algumas delas são destacadas por Martin e Solbes (2001):

- A dificuldade que encontramos para realizar uma introdução qualitativa do campo, dado o nível de abstração dos conceitos implicados.
- Não podemos relacionar facilmente com a experiência cotidiana dos alunos, como pode ocorrer com os conceitos de mecânica.
- Durante o processo de ensino ocorre freqüentemente que as interações entre partículas podem ser descritas de diversas formas (forças, campos, energias, etc.) e podemos desorientar os alunos se não ficar suficientemente claros os conceitos, estabelecendo suas relações, suas diferenças e âmbitos de aplicação.

A maior parte das situações estudadas corresponde a casos estáticos, onde se mesclam a teoria newtoniana (que interpreta as interações entre cargas ou massas mediante forças a distância e instantâneas) e a teoria de campo (que as interpreta como interações locais com o campo existente previamente em um ponto onde se deslocará a carga ou massa). Tudo isso se faz sem mostrar as limitações da primeira, especialmente naqueles casos em que os campos dependem do tempo, e sem as vantagens da segunda, ao permitir compreender estas situações, integrar domínios da física que inicialmente estavam desconectados como a óptica e o eletromagnetismo, etc.

Todos os tópicos supracitados poderiam ser, digamos, “atacados” quando se considera o ensino auxiliado por simulações que utilizem ativamente representações (concretas, gráficas) pertinentes ao (abstrato) conceito de campo.

Ainda segundo Martin e Solbes (2001):

A importância do conceito de campo (em particular campo de forças) tanto desde um ponto de vista científico como técnico é indiscutível. Para a física, sua introdução supõe pôr em dúvida e superar o marco teórico mecanicista, como disse Garcia (1994), “sem esta idéia básica de campo, a evolução posterior da física relativista e quântica fica inconcebível. O impacto que o descobrimento das ondas eletromagnéticas tem tido sobre a física é muito profundo. Elas tem imposto uma segunda revolução conceitual”, visto que, desde um ponto de vista técnico, o nascimento da eletrotécnica, a transmissão de sinais e a revolução nas comunicações nos levam a nova era da informação.

Uma revisão feita por Furió e Guisasola (1999) revela que mesmo depois de um longo período de instrução, os estudantes apresentam confusões ao tratar de estabelecer a causa da mudança de movimento das cargas e sua relação com as grandezas físicas que se introduzem

na eletrocinética, como intensidade de corrente, diferença de potencial e resistência. As dificuldades encontradas revelam que os conceitos implicados são de alta demanda cognitiva e se apóiam em pré-requisitos fundamentais que são introduzidos na eletrostática, como campo e potencial elétricos. Adicionamos, aqui, que estes conceitos estão fortemente embasados em representações, que, por sua vez, quando aplicadas a um conjunto pertinente de situações-problema, servem para definir os próprios conceitos de eletrostática.

Neste sentido, é evidente que uma clara compreensão dos conceitos introduzidos em eletrostática é essencial para adquirir uma visão científica dos fenômenos eletromagnéticos. Esta mesma revisão revela ainda dificuldades na aprendizagem de força elétrica, conceito dentro do paradigma newtoniano que podia ser tomado como de fácil aprendizagem.

Por outro lado, no que diz respeito a potencial, os autores atribuem as dificuldades na aprendizagem a uma introdução do conceito puramente operativa e pouco significativa para os estudantes porque somente definem o aspecto quantitativo do potencial. No mesmo trabalho, os autores concluem que a não relação entre o conceito energético de potencial e o movimento das cargas é uma consequência da carência de significado deste conceito.

Em Furió e Guisasola (2001), os trabalhos que tratam sobre as dificuldades de aprendizagem do conceito de campo mostram que os estudantes ficam vinculados a utilizar informações recebidas ao longo da instrução. O raciocínio da maioria dos estudantes se caracteriza por empregar uma única estratégia que consiste, em geral, na aplicação de uma “receita”.

Outro fator destacado por Furió e Guisasola (2001) como contribuinte na dificuldade de aprendizagem de eletrostática, consiste no fato do professor passar diretamente de uma visão newtoniana da eletricidade para uma visão energética sem explicar a necessidade desta mudança qualitativa. A não consideração da introdução de um novo conceito que tem seu fundamento no corpo teórico, faz com que a maioria dos professores não tenha em conta a mudança ontológica que se produz ao passar de uma visão coulombiana a outra de campo elétrico como forma de conceber a interação elétrica.

As dificuldades na aprendizagem se devem também a forma como estes conteúdos são geralmente tratados nos livros texto, de acordo com Furió e Guisasola (2001), freqüentemente

podemos observar distorções nos significados atribuídos aos conceitos por não ter em conta nem os contextos de investigação que os construíram nem sua evolução nas mudanças contextuais teóricas que os sucedem na história.

No caso da introdução do conceito de campo elétrico se esquece de enfatizar o salto qualitativo que foi passar de uma visão ontológica da interação elétrica confinada na matéria eletrizada, sem ter em conta o meio, a outra mais complexa onde se segue admitindo que a interação existe entre os corpos carregados porém cuja existência se imagina que vá mais além dos limites dos mesmos. Esta mudança que se inicia com Faraday vem complementar a visão cosmológica newtoniana (onde a matéria e o espaço são entidades separadas, absolutas e independentes), que havia servido de marco filosófico na definição coulombiana de interação elétrica, com a visão cosmológica de tradição cartesiana onde a matéria e o espaço se apresentam como inseparáveis. O esforço de imaginação ao visualizar a interação elétrica em um meio facilitou a construção de uma teoria que poderá explicar as interações eletromagnéticas, teoria que se concretizou na introdução do conceito estruturante de campo de forças.

Sem dúvida, existem muitos outros fatores que possam justificar as dificuldades na aprendizagem de eletrostática, citamos alguns considerados por nós como principais. Em particular as dificuldades de aprendizado no estabelecimento dos conceitos de campo e força, além de potencial elétrico, residem, segundo um consenso geral na área de ensino de física, no caráter abstrato destes conceitos, na dificuldade de associar estes conceitos a situações encontradas no cotidiano dos alunos e, finalmente no fato de que as representações associadas à estes conceitos devem, muitas vezes, serem aprendidas enquanto os conceitos também são aprendidos. Na nossa visão, “atacar” a aquisição das representações (e a forma de operá-las juntamente com os conceitos associados na resolução de situações-problema) é, sobretudo, parte da solução integral dos três problemas de aprendizagem principais à este ramo da eletrostática.

As perguntas de pesquisa norteadoras deste trabalho são:

- 1) A utilização de simulações computacionais no estudo da eletrostática gera evolução conceitual nos estudantes?
- 2) Quais os conceitos nos quais ocorre evolução conceitual proporcionada pelas simulações?

3) Como ocorre o processo de evolução conceitual nos estudantes?

Então, nosso trabalho propõe investigar se ocorre evolução conceitual nos estudantes proporcionada pela utilização de simulações computacionais no ensino da Eletrostática, e verificar, no caso de ocorrência, em quais conceitos ocorre esta evolução, bem como relacionar esta possível evolução com a forma de abordagem destes conceitos nas simulações computacionais. No conceito de força elétrica, as simulações abordam a representação dinâmica da força elétrica, isto é, o estudante pode visualizar movimentos e sua representação vetorial, assim como observar o módulo da força elétrica, que é quantificado em função dos valores das cargas e da distância. No conceito de campo elétrico, o estudante pode visualizar situações de interação de cargas elétricas, ora com duas cargas, ora com três cargas, verificar os vetores resultantes desta interação, além de observar o movimento de cargas sujeitas a um campo elétrico uniforme. No conceito de potencial elétrico, o estudante pode visualizar o movimento de cargas em um campo elétrico devido à diferença de potencial. É importante ressaltar que as simulações apresentam diferentes representações para uma mesma situação, representações estas, que são de particular importância neste trabalho.

1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS DA PESQUISA

1.1 Concepções alternativas dos estudantes.

A partir da década de 70, começaram a aparecer pesquisas referentes aos conteúdos das idéias dos estudantes como um desdobramento crítico àquelas realizadas por Piaget que dava excessiva ênfase ao desenvolvimento de estruturas lógicas subjacentes e não dar importância às idéias apresentadas pelas crianças.

Segundo os estudos realizados por Viennot (1979) apud Mortimer (1996) “as idéias alternativas de crianças e adolescentes são pessoais, fortemente influenciadas pelo contexto do problema e bastante estáveis e resistentes a mudanças, de modo que é possível encontrá-las mesmo entre os estudantes universitários”.

Nos estudos sobre as concepções alternativas dos estudantes aparecem duas características principais: a aprendizagem se dá através do ativo envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento, e as idéias prévias dos estudantes desempenham um papel importante no processo de aprendizagem.

Segundo Ausubel apud Moreira (2003), o conhecimento prévio é o fator isolado que mais influi na aprendizagem.

1.2 Concepções alternativas em eletrostática.

Segundo suas investigações a respeito das concepções dos estudantes em eletrostática, Martin e Solbes (2001) afirmam o seguinte:

1) A imagem que o aluno adquire de campo está longe da concepção científica. O considera como uma região do espaço ou tamanho que delimita a influência de uma massa, carga ou ímã. Para ele, o campo está vazio de significado, ao contrário dos conceitos de massa, carga, força... e, portanto é desnecessário, redundante e complicado. O aluno segue pensando em termos de força e não modifica suas idéias prévias sobre a interação entre partículas, o que faz com que mantenha os erros que pode ter inicialmente.

2) O aluno não chega a conhecer as diferenças sobre interação entre partículas, o que introduz a teoria de campo mediante ações contínuas frente à interpretação newtoniana através de ações à distância. Tampouco conhece as vantagens que a teoria de campo introduz: explicação de novos fenômenos como a indução ou as ondas eletromagnéticas, integração de domínios separados como a óptica e o eletromagnetismo, abertura de novas linhas de investigação, influência no avanço posterior da física e por outro lado, não chega a relacionar a teoria com suas aplicações tecnológicas, nem as repercussões que tem para a ciência e a sociedade.

3) O aluno não conhece a interpretação dos aspectos energéticos associados à interação. Se tratando de força elétrica, os autores Furió e Guisasola (1999) destacam que os estudantes consideram de forma errônea a questão de que “a maior carga, maior força” e isto faz com que se viole o princípio de ação e reação (a simetria da força de interação) que já havia sido visto ao estudar as Leis de Newton. Isto sugere que os estudantes não utilizam o que aprenderam na mecânica para analisar questões de eletricidade, vendo como separado em domínios diferentes estes corpos teóricos. Por outro lado, certas dificuldades detectadas na mecânica se estendem a outras áreas da física como o eletromagnetismo, onde se aplicam conceitos anteriores como força e interações.

No que diz respeito a potencial Furió e Guisasola (1999) revelam que os estudantes pensam na diferença de potencial como uma conseqüência do fluxo de cargas, ao invés de pensar que é a sua causa. . No mesmo trabalho, os autores atentam para a dificuldade dos estudantes em pensar sobre a causalidade do movimento de cargas, isto é não relacionam o conceito energético de potencial e o movimento das cargas.

1.3 Aprendizagem significativa.

Neste trabalho adotamos uma visão de aprendizagem concomitante com a visão de aprendizagem significativa, que segundo Ausubel apud Moreira (1999): “É um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica.”

Segundo Moreira (1999), a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos ou proposições relevantes, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. O armazenamento de informações no cérebro humano se dá de forma hierárquica, onde os conceitos mais específicos são ligados a conceitos mais gerais, mais inclusivos, estes conceitos já existentes são denominados de subsunçores e servirão de âncora para outros conceitos, neste processo de ancoragem da nova informação ocorre uma modificação e um crescimento do conceito subsunçor.

O tipo mais básico de aprendizagem significativa é a aprendizagem do significado de símbolos individuais (tipicamente palavras) ou aprendizagem do que eles representam. Ausubel denomina de aprendizagem representacional este tipo de aprendizagem significativa. A aprendizagem de conceitos, ou aprendizagem conceitual, é um caso especial, e muito importante, de aprendizagem representacional, pois conceitos também são representados por símbolos individuais. Porém, neste caso são representações genéricas ou categoriais.

Neste trabalho, focamos a aprendizagem significativa representacional e, se possível, dos conceitos associados àquela determinada representação.

1.4 Mudança conceitual.

Frente a uma nova visão de aprendizagem surgiu um modelo de ensino para lidar com as concepções dos estudantes e transformá-las em conceitos científicos: o modelo de mudança conceitual, que segundo Posner, Strike, Hewson e Gertzog (1982, p. 211) apud Mortimer (1996) foi proposto para descrever ou explicar “as dimensões substantivas do processo pelo qual os conceitos centrais e organizadores das pessoas mudam de um conjunto de conceitos a outro, incompatível com o primeiro”.

Mortimer (1996) propõe a construção de um modelo alternativo para compreender as concepções dos estudantes dentro de um esquema geral que permite relacioná-las e ao mesmo tempo diferenciá-las dos conceitos científicos apreendidos na escola: a noção de perfil conceitual. Segundo o autor:

Essa noção permite entender a evolução das idéias dos estudantes em sala de aula não como uma substituição de idéias alternativas por idéias científicas, mas como a evolução de um perfil de concepções, em que novas idéias adquiridas no processo de ensino-aprendizagem passam a conviver com as idéias anteriores, sendo que cada uma delas pode ser empregada no contexto conveniente.

A noção de perfil conceitual é baseada na noção de perfil epistemológico, que segundo Bachelard apud Mortimer(1996) diz que é possível que cada indivíduo trace seu perfil epistemológico para cada conceito científico, e apesar das características individuais do perfil, as categorias que constituem as diferentes divisões do perfil tem uma característica mais geral. Cada zona do perfil é relacionada com uma perspectiva filosófica específica, cada parte do perfil pode ser relacionada com uma forma de pensar e com um certo domínio ou contexto a que essa forma se aplica.

A noção de perfil conceitual tem como característica principal a hierarquia entre as diferentes zonas, pela qual cada zona sucessiva é caracterizada por conter categorias de análise com poder explanatório maior que as anteriores. Um outro elemento importante do perfil conceitual é a distinção entre as características ontológicas e epistemológicas de cada zona do perfil. Apesar de lidar com o mesmo conceito essas características podem mudar à medida em que se mova através do perfil. Segundo Mortimer (1996) para que o estudante entenda realmente um conceito, é preciso mudar suas concepções, o que requer uma mudança em sua ontologia.

Um aspecto importante é o fato de que os estudantes utilizam concepções prévias devido ao desconhecimento do próprio perfil, isto é, o estudante não relaciona um conceito aprendido anteriormente com um conceito novo por acreditar que estes conceitos não pertencem a um mesmo perfil, somente os domínios a que se aplicam é que são diferentes.

É importante ressaltar que segundo o autor, apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente resultante das experiências distintas de cada um, as categorias são as mesmas para conceito.

O perfil conceitual é considerado um instrumento de análise que permite relacionar as idéias dos estudantes aos conceitos científicos.

Mais recentemente, em Moreira (2003), este autor faz uma análise do tema Mudança conceitual, comentando diferentes visões e estratégias para promover a mudança conceitual.

Segundo Nussbaum (1989) Moreira (2003):

Por muito tempo se tem aceito que a acomodação cognitiva requer alguma experiência que provocaria um estado de desequilíbrio, dissonância ou conflito cognitivo no aluno. Implicitamente se admitia que tal conflito conduziria a uma acomodação cognitiva que apareceria como uma imediata mudança conceitual.

Segundo Moreira (2003), numa visão piagetiana, a estratégia de conflito implicaria que o professor gerasse uma dissonância cognitiva no aluno suficientemente grande para levar a uma acomodação, porém não tão grande que conduza ao abandono da tarefa. O resultado da acomodação seria uma mudança conceitual. Para este autor, o conflito cognitivo não é suficiente para rejeitar uma concepção alternativa.

Existem algumas condições para que ocorra uma mudança conceitual, que segundo Posner (1982) apud Moreira (2003) são:

- Deve existir uma insatisfação com as concepções existentes. É improvável que ocorra mudanças conceituais radicais a menos que se perceba que pequenas mudanças não funcionam mais.
- Uma nova concepção deve ser inteligível. O indivíduo deve ser capaz de entender o novo conceito o suficiente para explorar suas possibilidades.
- Uma nova concepção deve parecer inicialmente plausível. Qualquer novo conceito adotado deve pelo menos parecer ter a capacidade de resolver os problemas gerados por seus antecessores.

- Uma nova concepção deve sugerir a possibilidade de um programa de investigação frutífera. O novo conceito deve ter o potencial de ser estendido a outras áreas, de abrir novas possibilidades.

Para Moreira tanto o modelo do conflito cognitivo (Nussbaum) como o modelo de Posner, sugerem a mudança conceitual como uma substituição de uma concepção por outra. Segundo o autor, a substituição de uma concepção alternativa por outra não existe, visto que as concepções alternativas são aprendidas de maneira significativa, logo, resistentes a mudança.

Neste trabalho nos baseamos na visão de Greca e Moreira (2003) que sugere a mudança conceitual como “desenvolvimento, enriquecimento, evolução conceitual”:

Uma concepção pode ser imaginada como uma “nuvem” de significados adquiridos principalmente por assimilação, em desenvolvimento de tal modo que nenhum é eliminado, abandonado; estão todos sempre presentes, pelo menos de maneira residual. Significados aceitos e não aceitos são conscientemente discriminados segundo o nível de conhecimento que tem no contexto da matéria de ensino. Tanto os significados aceitos como os não aceitos estão presentes na concepção que está sendo usada, porém os usuários são capazes de discernir entre eles contextualmente.

O modelo de mudança conceitual proposto por Greca e Moreira (2003) é baseado na aprendizagem significativa no sentido utilizado por Ausubel e Novak (1983) apud Greca e Moreira (2003): “as concepções alternativas resultam de aprendizagem significativa, a evolução destas concepções só pode resultar de estratégias de aprendizagem significativa”.

Segundo Greca e Moreira (2003):

A medida que ocorre a aprendizagem significativa, a concepção se desenvolve (progride) e aumenta o discernimento; significados já estabelecidos não são substituídos ou excluídos, eles podem ser menos utilizados, ou não utilizados, porém seguem presentes na concepção que progride (e fica mais rica), talvez escondidos em alguns significados residuais. (Greca e Moreira, 2003).

Neste trabalho buscamos verificar a ocorrência de evolução conceitual nos estudantes conforme a visão de Greca e Moreira (2003), no próximo capítulo descrevemos os procedimentos metodológicos utilizados para esta verificação. Em particular, vale sempre lembrar, a aprendizagem significativa que buscamos identificar está relacionada com o

enriquecimento dos conceitos pré-existentes de forma consonante com a aprendizagem significativa representacional, supramencionada. Dessa forma, os conceitos serão enriquecidos com representações, que auxiliarão na definição e na forma que o conceito é utilizado em situações-problema, de forma evolutiva.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho, buscamos, prioritariamente, verificar se ocorre ou não evolução conceitual com o uso da metodologia integrada de combinar: simulações computacionais, atividades em dupla, complementar à sala de aula, e à utilização da técnica POE. Sendo assim, o trabalho assume uma postura quantitativa, pois o teste utilizado é de questões objetivas, e, também, nosso intuito é verificar hipótese basicamente pré-estabelecidas: a de que simulações computacionais de situações que envolvem conceitos de eletrostática podem potencializar uma evolução conceitual representacional em estudantes de física.

Contudo, com o objetivo de enriquecer nosso estudo e compreender a aprendizagem dos estudantes, realizamos também uma análise interpretativa das respostas durante:

- a) a resolução do guia de simulação
- b) em entrevistas.

Avaliamos essa possível evolução, utilizando, de forma complementar o enfoque qualitativo e quantitativo na pesquisa em Ensino de Ciências. Os métodos qualitativo e quantitativo podem ser utilizados de forma conjunta, com a finalidade de obtermos uma análise mais robusta e mais detalhada possível.

Segundo Eisner apud Moreira (1990):

Cada abordagem ao estudo de situações educacionais provê de maneira única sua própria perspectiva. Cada um ilumina a seu modo as situações que os seres humanos procuram compreender. O campo da educação em particular precisa evitar o monismo metodológico. Nossos problemas devem ser atacados de todas as maneiras que forem frutíferas [...] A questão não é

contrastar qualitativo e não qualitativo, mas como abordar o mundo educacional. É para o artístico que devemos nos voltar não como uma rejeição ao científico, mas porque com ambos podemos atingir visão binocular. Olhar através de um só olho nunca proporcionou muita profundidade de campo.

Apesar de existirem várias críticas a respeito da compatibilidade dos métodos, a nossa posição é conciliável a de Shulman apud Moreira (1990):

Temos que primeiramente entender nosso problema decidir que questões queremos formular e então escolher o modo de investigação disciplinada mais apropriado a essas questões. Se os métodos adequados são altamente quantitativos e objetivos, ótimo. Se forem mais subjetivos ou qualitativos podemos também usa-los responsavelmente.

Durante nossa análise, exploramos alguns conceitos e aplicações para o estudo de eletrostática, considerados por nós como principais: Força eletrostática, Princípio da atração e repulsão em situações de eletrostática, Campo elétrico e Potencial eletrostático.

O arranjo experimental escolhido foi o de utilização de testes antes e após o tratamento (uso de simulações computacionais), em uma turma experimental e uma turma controle.

A coleta de dados do grupo experimental foi realizada através de questionários escritos e entrevistas, que foram aplicados na seguinte ordem: pré-teste, guia de simulação, pós-teste e finalmente uma entrevista semi-estruturada. O grupo de controle não realizou as atividades de simulação, então não executou o guia de simulação, o restante dos instrumentos foi aplicado de igual forma e na mesma data para os dois grupos.

Os instrumentos de coleta de dados utilizados na pesquisa consistem em:

- a) Questões objetivas – para nossa análise quantitativa;
- b) Questões abertas (do próprio guia) e entrevistas semi-estruturadas.

2.1 Os testes.

Na escolha do pré e do pós-teste, houve preocupação para que estes fossem concisos, a fim de não desmotivar os estudantes durante a execução das tarefas, ao mesmo tempo em que não deixasse de aferir o que nos propomos.

Para a escolha desses instrumentos de pesquisa, foram levadas em conta as concepções alternativas dos estudantes, de acordo com a literatura sobre dificuldades no ensino e aprendizagem de Eletrostática.

O pré e o pós-teste são quantitativos e consistem de questões de múltipla escolha que foram escolhidas para a verificação dos conhecimentos iniciais e finais durante o período de intervenção, que ocorre por meio da simulação. As questões escolhidas para estes testes foram selecionadas do trabalho “Surveying students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism” (MALONEY, D.P.; O’KUMA,T.L.;HIEGGELKE,C.J; HEUVELEN, A.V.; 2000), no qual, os autores utilizam um teste composto de 32 questões, das quais 14 foram selecionadas e complementadas para utilização neste trabalho, as demais foram descartadas por abordarem conceitos que estavam fora de nosso objetivo. As questões foram traduzidas e enviadas para dois professores-avaliadores, que atestaram a sua validade para aferir conhecimento em eletrostática.

Inicialmente os estudantes tiveram aula tradicionais sobre o conteúdo a ser discutido nas simulações. Em seguida foi aplicado o pré-teste. Após o pré-teste, houve o período de intervenção para o grupo experimental, utilizando simulações computacionais, em dupla, e com o auxílio de um guia de utilização.

O pós-teste, de igual conteúdo do pré-teste, foi aplicado após o período de intervenção, a fim de verificar, então, se houve uma evolução das idéias iniciais, tanto no que diz respeito aos conceitos principais, como nos conceitos envolvidos.

Desenvolvemos os instrumentos procurando focalizar situações de conflito cognitivo, as quais para serem resolvidas torna-se necessário o desenvolvimento dos conceitos envolvidos, atividades que permitem ao estudante perceber que podem utilizar pré-concepções para sua resolução, porém com certo grau de discriminação.

O pré e o pós-teste não tiveram duração estipulada para sua resolução. O teste foi realizado individualmente, a fim de obtermos uma análise mais concisa sobre as concepções de cada estudante. O intervalo de aplicação desses instrumentos foi de 34 dias. Durante esse intervalo de tempo, foi realizada a atividade de simulação computacional.

2.2 O guia de simulação.

O guia de simulação é um roteiro composto por questões e procedimentos para que o estudante realize a simulação e responda às questões propostas. O guia desenvolvido é baseado na metodologia P.O.E. – Predizer, Observar e Explicar (WHITE & GUNSTONE, 1992 apud TAO & GUNSTONE, 1999).

Na etapa de previsão, os estudantes devem prever e justificar o resultado de um evento específico. A observação é o passo seguinte da previsão. O estudante, seguindo o seu guia, simula no computador o evento correspondente à previsão. Nessa fase, pode ocorrer um conflito cognitivo entre a previsão e a resposta observada. Finalmente, na etapa de explicação, o estudante deve explicar discrepâncias entre sua previsão e a observação. Deste modo, a anuência dos estudantes em seguir a seqüência dos três itens (Previsão, Observação e explicação), é de fundamental importância para o bom desenvolvimento da atividade. A aplicação do guia de simulação ocorreu no Laboratório de Informática da Escola. Para essa atividade, foi solicitado aos estudantes que formassem duplas, embora tenha ocorrido a formação de trios, devido ao número limitado de computadores disponíveis.

No guia de simulação, informamos aos estudantes que são utilizadas simulações computacionais e que a metodologia para a resolução das questões propostas, consiste em predizer, observar e explicar, explicitando cada uma dessas etapas. Essa metodologia tem se revelado eficaz na utilização de simulações computacionais. A técnica POE é bastante eficaz, mas se o estudante não segue as etapas seqüencialmente, a atividade perde a sua essência e conseqüentemente, os estudantes também não atingem o resultado esperado em aprendizado. O maior problema que ocorre no trabalho é a curiosidade de observar a simulação antes da etapa de previsão e assim o estudante torna-se incapaz de fazer uma previsão, pois já sabe qual é a resposta correta.

Então, optamos por solicitar aos estudantes que sigam as etapas para que a atividade ocorra de forma frutífera. Em contrapartida, temos o cuidado de auxiliar os estudantes na execução da primeira seqüência do POE, para que os mesmos não se desmotivem por alguma insegurança em relação às atividades, aumentando sua ansiedade em responder “corretamente” à etapa de previsão, o que pode, naturalmente, fazer com que o estudante siga

para a etapa de observação. Após a leitura introdutória, os estudantes partem para a resolução da etapa de previsão.

2.3 As entrevistas.

Após a aplicação do pós-teste, foram realizadas entrevistas semi-estruturadas, onde o estudante pôde explicar suas respostas, e como chegou a determinadas conclusões, a fim de verificarmos os conceitos utilizados e suas idéias. Com o intuito de validar a entrevista, foram observados alguns cuidados, como não interferir na resposta do estudante.

A entrevista é uma maneira eficaz de auxiliar o entrevistador em descobrir as idéias prévias dos estudantes, pois como lembra Maria Eugênia D. Dominguez: “somente perseguindo as respostas de um aluno, que se iniciam com a formulação de uma pergunta sobre certa situação, é que se pode chegar a reunir informação suficiente que permita aproximar-se o máximo possível do que o estudante pensa dessa situação.”(DOMINGUEZ, 1985).

As entrevistas não tiveram duração pré-determinada e foram transcritas. Assim, partimos de cada questão, que tem vários outros conceitos envolvidos, além do principal, para determinar a evolução conceitual do conceito principal que é a resultante de todos os conceitos envolvidos. Ainda, sobre uma visão geral, a análise das evoluções de cada conceito principal, juntamente com os conceitos envolvidos, permite estabelecermos o(s) conceito(s) de maior dificuldade de compreensão e o(s) de maior facilidade de entendimento para os estudantes que realizaram a atividade computacional.

Podemos, portanto, sumarizar a nossa estratégia de análise em uma análise comparativa e interpretativa das respostas dos estudantes no pré e no pós-teste, de acordo com os conceitos principais previamente estabelecidos. Assim sendo, quando analisamos as respostas do pré, adicionalmente utilizamos a etapa de previsão do guia de simulação. Ao analisarmos as respostas do pós-teste, observamos as respostas da etapa de explicação do guia de simulação. Assim, podemos, mais claramente, evidenciar se a atividade em grupo e a simulação influenciam no conceito final do estudante. É importante salientarmos que a análise dos pré e pós-testes elucida com bastante clareza a produção do estudante. A análise dos guias é apenas complementar.

2.4 Caracterização da amostra experimental.

O estudo foi realizado em duas turmas do 3º ano do Ensino Médio da Escola Estadual Gastão Bragatti Lepage, na cidade de Candelária (RS), uma composta de 29 estudantes, e outra composta de 34 estudantes. Destas duas turmas foram sorteados 25 estudantes para compor o grupo experimental e 18 estudantes para compor o grupo de controle.



Figura 1: Estudantes manipulando as simulações.



Figura 2: Estudantes preenchendo o guia de simulação.

2.5 Aplicação do teste piloto.

Antes de aplicarmos o teste final e coletarmos os dados para o nosso trabalho, ocorreu um experimento piloto numa turma de 12 estudantes do 3º ano do Ensino Médio, turno da tarde, da Escola Estadual Gastão Bragatti Lepage, na cidade de Candelária (RS).

A finalidade de aplicação deste teste piloto foi:

- estimar o tempo necessário para que os estudantes executassem as atividades de simulação,
- observar a ocorrência de dúvidas na realização dos testes,
- verificar se as simulações computacionais escolhidas eram adequadas para medir o que se pretendia, isto é, se abordavam os conceitos explorados como pretendíamos,
- avaliar a qualidade da estruturação das entrevistas.

O experimento piloto não teve grupo de controle, devido ao pequeno número de estudantes desta turma, mas como o nosso objetivo maior foi detectar e corrigir possíveis falhas durante nossa coleta de dados, acreditamos que a existência deste grupo poderia ser suprimida, sem comprometer o nosso objetivo.

O estudo piloto exerceu um papel fundamental em nossa pesquisa, possibilitando dentre outros fatores a oportunidade de validarmos a metodologia utilizada (POE), e os nossos instrumentos de coleta de dados, com o programa de simulação Modellus (TEODORO, VIEIRA & CLÉRIGO, 2002).

2.5.1 Os testes utilizados.

Tanto o pré-teste como o pós-teste foram de igual conteúdo ao do experimento final já descrito anteriormente.

2.5.2 As simulações.

O software utilizado foi o Modellus25BR (TEODORO, VIEIRA & CLÉRIGO, 2002), e as atividades de simulação foram elaboradas por professores da área.

No experimento 1 (figura 3), o estudante visualizava duas cargas elétricas em um plano bidimensional, onde é possível alterar a distância e o valor das cargas, movimentá-las e verificar como se apresentava o vetor força elétrica.

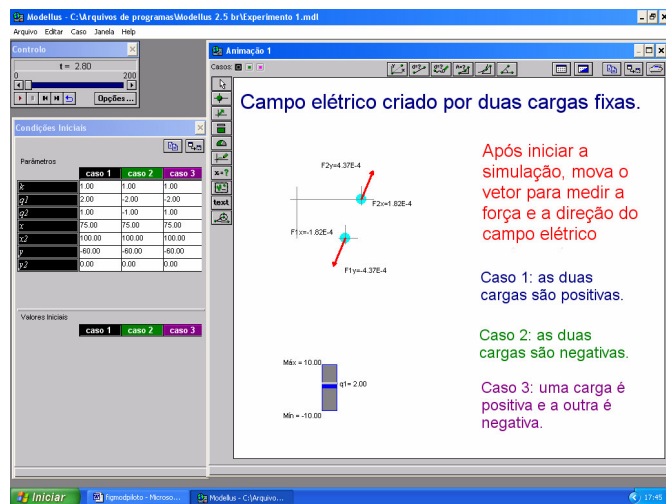


Figura 3: Experimento 1.

No experimento 2 (figura 4), o estudante visualizava um plano bidimensional onde se encontrava uma carga positiva geradora de um campo elétrico, ao movimentar uma outra carga, positiva ou negativa neste campo elétrico o estudante podia verificar o comportamento dos vetores força elétrica entre as duas cargas.

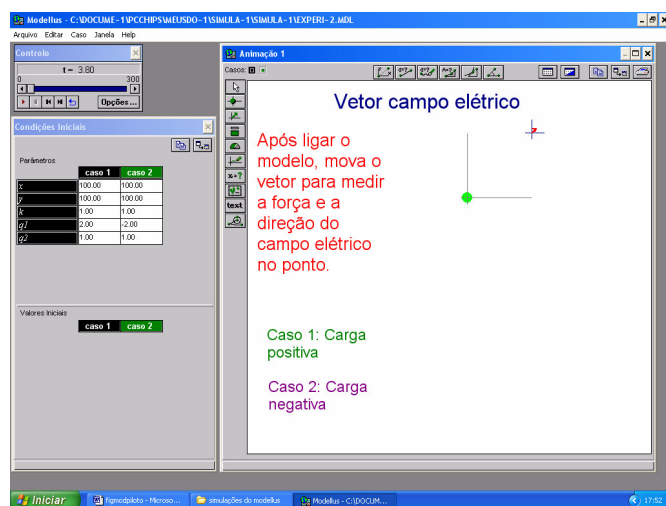


Figura 4: Experimento 2.

No experimento 3 (figura 5), o estudante visualizava duas cargas elétricas, onde, escolhendo o sinal de uma das cargas, podia observar a aceleração constante na atração ou na repulsão das cargas, podendo ainda, movimentá-las para o ponto escolhido.

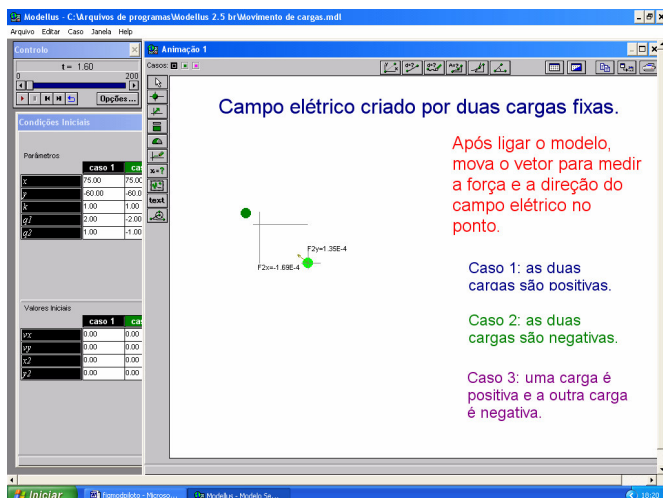


Figura 5: Experimento 3

Um dos fatores positivos observados durante a atividade computacional consiste no trabalho em duplas, determinadas por afinidade. Percebemos que há um diálogo constante e sem constrangimentos ao comentarem, entre eles, hipóteses surgidas durante a atividade. Observamos que o tempo de aproximadamente 120 minutos é necessário para a realização de uma atividade computacional, evitando o cansaço e a desmotivação dos estudantes.

A aceitação e a interatividade com o programa Modellus, mostram-se muito satisfatórias. Os estudantes gostaram e salientam, que os professores devem utilizar com mais frequência esse tipo de metodologia durante as aulas.

2.5.3 As falhas observadas.

Durante a aplicação das atividades de simulação e principalmente durante a etapa de análise, observamos algumas falhas que podem ter comprometido uma possível evolução conceitual, por exemplo, não tivemos nenhuma atividade que tratasse diretamente de potencial elétrico, isto é, não foi representada nenhuma situação que envolvesse este conceito, o que pode ter justificado o fato de não obtermos resultados significativos na comparação pré-teste e pós-teste relativas a este conceito. Convém salientarmos que a inexistência de uma

simulação que tratasse de potencial elétrico foi sutilmente mencionada pelos estudantes durante as entrevistas, visto que ao tratarmos deste conceito não faziam nenhuma referência às simulações utilizadas.

Não obtivemos resultados significativos na comparação pré-teste e pós-teste na questão que tratava da relação quantitativa entre força e distância, relação esta que não foi explorada durante as atividades de simulação, percebeu-se uma necessidade de realizar um experimento onde os estudantes pudessem “medir” a força elétrica.

Durante a análise do discurso dos estudantes na etapa da entrevista, observou-se ainda outras falhas ocorridas durante a atividade de simulação. Nas situações que envolviam operações vetoriais, muitas vezes os estudantes tomavam o vetor força elétrica pelo vetor velocidade, uma vez que não foi devidamente esclarecido os tipos de representação utilizados. Outra falha encontrada na simulação foi na representação de campo elétrico ou de força elétrica, pois nas situações exploradas uma das cargas era fixa, o que sugestionava ao estudante uma equivocada concepção das conseqüências da interação de cargas elétricas.

2.5.4 A análise dos resultados.

Devido ao tamanho limitado da amostra, foi impossível realizar uma análise estatística adequada, contudo fizemos uma comparação do número de acertos de cada questão no pré-teste com os acertos do pós-teste, além de fazermos uma análise interpretativa das respostas dos estudantes.

As questões 2, 5, 8 e 10 foram as questões que tiveram um resultado mais significativo na comparação pré-teste e pós-teste. A questão 2 tratava da força elétrica em uma carga $4Q$ exercida por uma carga Q , após a realização do experimento 1, os estudantes puderam observar o comportamento dos vetores força elétrica, constatando serem de mesmo tamanho e evidenciando a aplicação da Terceira Lei de Newton. A questão 5 solicitava ao estudante representar vetorialmente a força elétrica entre uma carga de -2 unidades e uma carga de $+1$ unidade, do mesmo modo que na questão 2, realizando o experimento 1, os estudantes observaram a aplicação da Terceira de Lei de Newton, o que resultou num melhor desempenho no pós-teste. A questão 8 perguntava como seria o movimento de uma carga positiva quando colocada numa região de um campo elétrico, após a realização do

experimento 3, onde o estudante pôde observar a aceleração constante desta carga, o desempenho no pós-teste teve uma melhora significativa. A questão 10 utilizava um diagrama de um campo elétrico, onde os estudantes deveriam representar a força elétrica em uma carga negativa colocada num ponto P deste campo elétrico, com a realização do experimento 2 onde os estudantes podiam movimentar cargas num campo elétrico a observação do comportamento dos vetores proporcionou uma evolução na idéia de direção e sentido da força elétrica entre cargas.

As questões 11, 12, 13 e 14 tiveram particular importância neste trabalho, por tratarem de situações onde envolvia potencial elétrico não obtiveram resultados significativos na comparação pré-teste e pós-teste, visto que não foram realizados experimentos que tratassem diretamente de potencial elétrico, mesmo tendo sido trabalhada em sala de aula, ao não serem representadas na simulação, não foram apresentadas ao estudante da mesma forma. Assim, observamos que deve-se trabalhar efetivamente com todas as formas possíveis de se representar a eletrostática. Esta instância negativa do método serviu, contudo, para corroborar nossos instrumentos de análise.

A questão 3 não apresentou evolução na comparação pré-teste e pós-teste, por tratar da relação quantitativa entre força e distância; relação esta quantitativa não foi explorada nas atividades de simulação, percebeu-se uma necessidade de realizar um experimento onde os estudantes pudessem “medir” a força elétrica.

Nossa atividade, mesmo se tratando de uma atividade-piloto e de curto espaço de tempo, proporcionou para a maioria dos estudantes a capacidade de reconhecer que o tamanho da “flecha” indicava força maior ou menor. Dessa forma, a representação vetorial passa a ser considerada como parte do seu discurso durante a explanação de fenômenos elétricos. Este é um ganho interessante que o uso de simulações pode proporcionar.

Uma vez observado o comportamento de duas cargas, os estudantes relacionam a terceira lei de Newton com fenômenos eletrostáticos, e alguns até mesmo conseguem a aplicar o princípio da ação e reação também para a força entre cargas. Nas questões que envolviam alguma operação vetorial verificou-se que poucos alunos tiveram alguma evolução, visto que por vezes tomavam o vetor força elétrica pelo vetor velocidade. E, finalmente, nas questões que possuíam potencial elétrico como um elemento suplementar, verificamos que nenhum

estudante obteve êxito no pós-teste, o que muito provavelmente deva-se ao fato de não realizarem um experimento específico para potencial. Como toda concepção alternativa, existe uma grande resistência à evolução da idéia de campo elétrico limitado. É pertinente repensar uma forma de provocar esta evolução, e a reformulação dos experimentos de simulação tornou-se necessária.

A reformulação dos experimentos de simulação busca corrigir falhas que podem ter sido a causa de uma fraca evolução em algumas idéias dos estudantes. Neste trabalho verificamos que não houve um experimento que tratasse da intensidade da força elétrica numericamente, em nenhum momento o estudante podia “medir” a força, isto talvez tenha ocasionado uma fraca evolução das idéias relativas a este conceito. Outra falha constatada nos experimentos de simulação foi o fato de representarmos um campo elétrico originado por uma carga fixa, pois o estudante verificou que ao colocarmos outra carga próxima, só uma delas se movia, constata-se que é necessário um experimento onde o estudante visualize o movimento de todas as cargas envolvidas. Quanto a campo elétrico, não houve um experimento onde o estudante pudesse determinar numericamente sua intensidade. A falha mais comprometedora de todos os experimentos realizados foi o fato da simulação já estar rodando quando os estudantes iniciavam a tarefa.

Apesar de ser considerada uma maneira eficaz de inferir as idéias dos estudantes, algumas vezes a entrevista não correspondeu as expectativas do entrevistador, pois os estudantes freqüentemente se contradizem, respondem a questão feita com um “não sei”, elaboram respostas curtas que deixam vagas as suas idéias, e muitos ainda sentem-se inibidos em falar quando sabem que estão sendo gravados. Mas o principal problema enfrentado pelo entrevistador foi de que apesar dos testes terem sido analisados previamente, não houve uma elaboração prévia de um modelo de questionário que pudesse sanar as dúvidas na interpretação das respostas dos estudantes no teste, logo, algumas questões poderiam ter sido investigadas com mais profundidade através das entrevistas.

Todas as reformulações citadas foram feitas para o experimento final.

De uma forma geral, concluímos que apesar das falhas ocorridas durante a coleta de dados, a utilização de simulação computacional obteve resultados positivos que sofreram uma instância confirmadora durante a análise dos guias e das entrevistas.

3 AS SIMULAÇÕES

Os programas utilizados nas atividades de simulação foram o software Modellus25BR (disponível em <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus>) e Physlets (disponível em <http://www.phas.ucalgary.ca/physlets>), ambos disponíveis gratuitamente na rede (Internet).

3.1 Aplicações do software Modellus.

Este programa permite construir e explorar modelos matemáticos para o estudo de sistemas de vários gêneros. Os estudantes podem trabalhar com modelos previamente construídos, modificar os valores de parâmetros, os dados iniciais ou construir os modelos resultantes do aperfeiçoamento de esboços iniciais, além de permitir de forma rápida e fácil, construir gráficos e tabelas que descrevem o comportamento do modelo. Segundo Veit e Teodoro (2002):

Modellus, como outras ferramentas computacionais, permite ao usuário fazer e refazer representações, explorando-as sobre as mais diversas perspectivas. Deste modo, facilita a familiarização com essas representações, criando de certo modo uma intimidade entre aprendiz e representação, intimidade essa que muito dificilmente resulta da simples observação ocasional de equações e representações feitas pelo professor ou apresentadas nos livros.

O software Modellus é um software educacional desenvolvido especialmente para a modelagem no ensino de Ciências e Matemática, é uma ferramenta computacional que através da experimentação conceitual favorece a aprendizagem da modelagem. Sendo um software de modelagem sua característica mais importante é a possibilidade de construir múltiplas representações de uma mesma situação.

Segundo Veit (2002):

Modellus é uma ferramenta cognitiva para auxiliar a internalização de conhecimento simbólico, preferencialmente em contexto de atividades de grupo e de classe, em que a discussão, a conjectura e o teste de idéias são atividades dominantes, em oposição ao ensino direto por parte do professor.

A aquisição de conhecimentos e capacidades é um processo de familiarização com novas idéias e representações, e um modelo matemático é uma forma específica de representação que se vale de objetos matemáticos, como são as funções e os vetores. A possibilidade de construção de modelos de sistemas dinâmicos, que o software modellus pode oferecer é de interesse dos professores de Física.

É de particular importância ao estudante a utilização de múltiplas representações, sendo assim, é possível com o Modellus construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, generalizar, prever, avaliar e analisar situações. Tudo isto com o benefício de ser agente de seu próprio conhecimento, interagindo e testando suas hipóteses.

O software Modellus dispensa o conhecimento de uma linguagem especial de programação, bastando ao usuário conhecer o simbolismo matemático, por isso torna-se de fácil manipulação.

3.2 Os experimentos.

Os experimentos de simulação foram escolhidos e elaborados visando uma melhor compreensão dos conceitos da eletrostática, as atividades foram planejadas visando representar fenômenos dinâmicos com animações, proporcionar ao estudante a possibilidade de interação podendo modificar parâmetros e condições iniciais e possibilitar que o estudante teste seus modelos cognitivos, detecte e corrija inconsistências.

Com exceção da simulação Electric Field lines, utilizada para o experimento três, que foi selecionada entre os diversos softwares de simulação computacional existentes e disponíveis gratuitamente na internet, todas as demais simulações foram produzidas com o software modellus. A simulação utilizada para o experimento três foi selecionada, devido a relativa facilidade de manipulação das ferramentas e principalmente a uma representação de campo elétrico que procuramos explorar. É importante salientarmos que dentre os softwares

disponíveis, encontramos alguns que talvez fossem mais adequados aos nossos propósitos, mas a pouca habilidade no manejo do computador e a falta de familiaridade com as simulações computacionais por parte dos estudantes foram fundamentais nesta escolha, a fim de que os estudantes não tivessem outra preocupação senão a de compreensão das situações exploradas.

Houve uma preocupação em não tornar as atividades demasiadamente complexas, isto é, para que o estudante não tivesse acesso aos modelos previamente construídos (fórmulas) e fosse possível modificar somente alguns parâmetros e condições iniciais, a fim de não haver excesso de informações na tela, o que poderia desviar a atenção do estudante.

No experimento 1 (figura 6), o estudante visualizava duas cargas elétricas em um plano bidimensional, onde é possível alterar a distância e o valor das cargas, e verificar como seria o movimento destas cargas e o comportamento do vetor força elétrica.

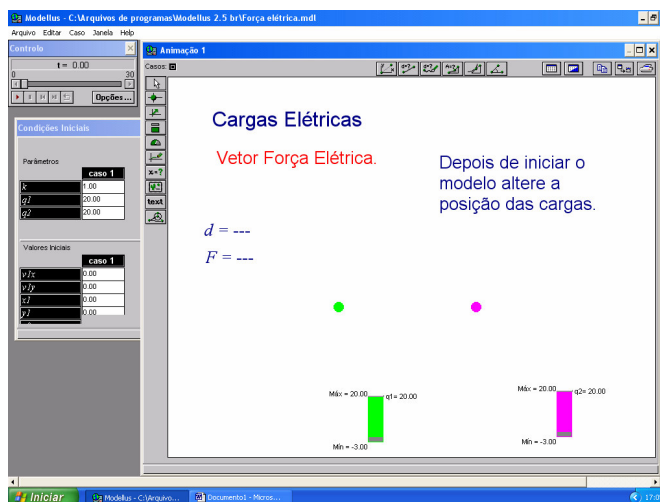


Figura 6: Experimento 1.

No experimento 2 (figura 7), o estudante visualizava um plano bidimensional onde se encontrava uma carga elétrica (positiva ou negativa) geradora de um campo elétrico, ao movimentar uma outra carga, positiva ou negativa neste campo elétrico o estudante podia verificar o comportamento dos vetores força elétrica entre as duas cargas.

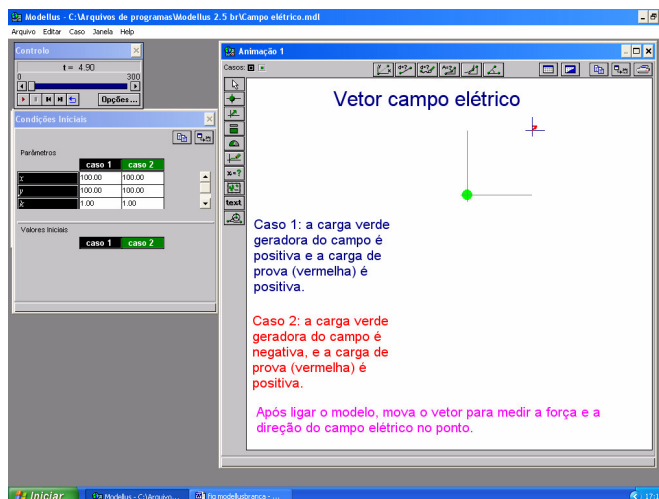


Figura 7: Experimento 2.

No experimento 3 (figura 8), o estudante observava as linhas de força entre uma carga positiva e uma carga negativa, bem como o vetor força elétrica em uma carga positiva que poderia ser colocada em diferentes pontos nas proximidades destas cargas.

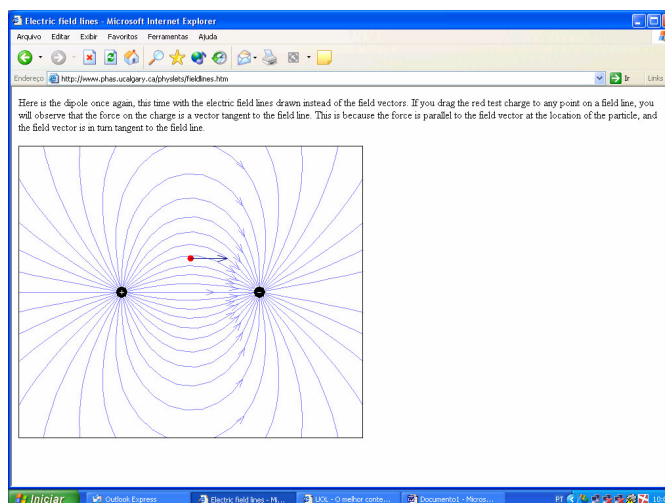


Figura 8: Experimento 3.

No experimento 4 (figura 9), o estudante observava o movimento de uma carga positiva sujeita ao campo elétrico criado por outra carga positiva.

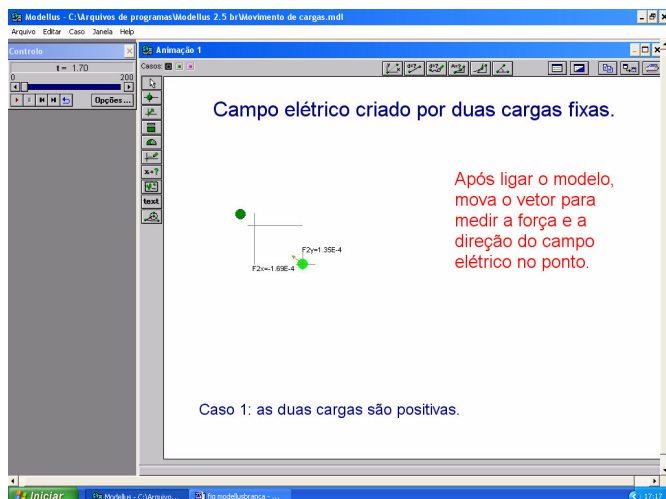


Figura 9: Experimento 4.

No experimento 5 (figura 10), o estudante podia movimentar cargas positivas ou negativas e observar o comportamento do vetor campo elétrico quando estas cargas estavam em diferentes pontos.

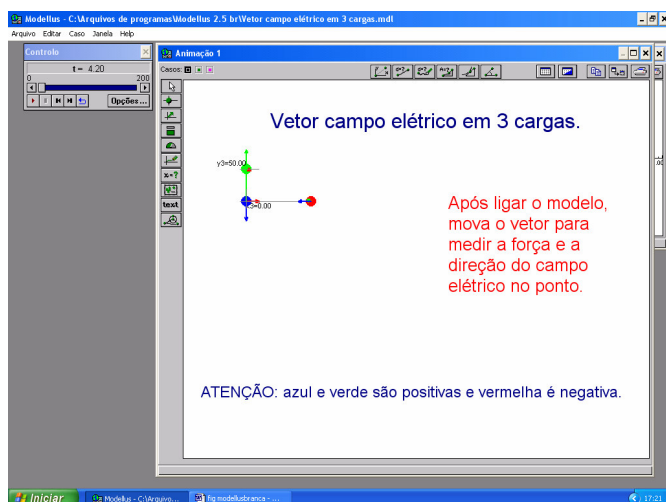


Figura 10: Experimento 5.

No experimento 6 (figura 11), o estudante observava o movimento de uma carga positiva ou negativa quando solta num campo elétrico uniforme.

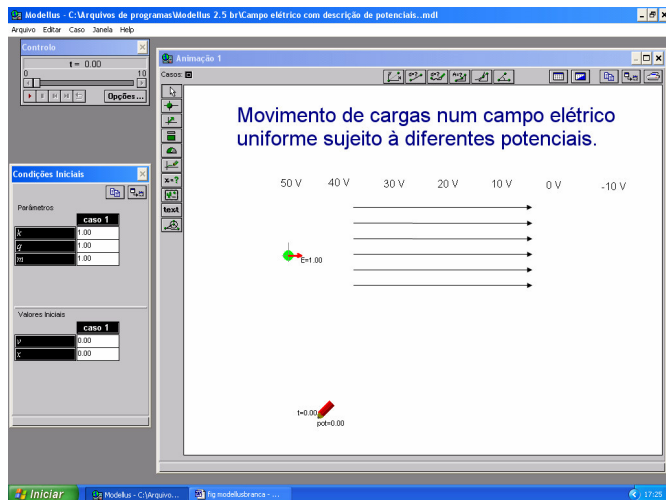


Figura 11: Experimento 6.

4 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

Neste capítulo apresentamos os critérios utilizados para a análise quantitativa das respostas dos estudantes, posteriormente relataremos os critérios utilizados na análise qualitativa e, finalmente a apresentação e os comentários em relação aos resultados.

4.1 Análise quantitativa.

Nesta etapa da análise abordamos os testes utilizados para avaliar o desempenho dos estudantes no pré-teste e no pós-teste, bem como faremos uma comparação deste desempenho a fim de averiguar se ocorre ou não evolução conceitual entre a aplicação destes.

Uma vez tabeladas as respostas de cada estudante, tanto antes como após a atividade de simulação computacional, realizamos a análise estatística, aqui apresentada, juntamente com uma posterior análise qualitativa para alguns casos de evoluções.

A seguir apresentamos os resultados da análise estatística para: comparação das diferenças entre dois momentos (antes e após o uso da atividade de simulação) e comparação dos resultados relativos à evolução entre os dois grupos (experimental e controle).

Inicialmente, apresentamos o total de acertos e porcentagem em cada questão dos pré-testes e dos pós-testes para o grupo experimental e o grupo de controle (tabela 1).

Tabela 1

Número de acertos e percentual em cada questão.

| Pré | Grupo Experimental | | Grupo Controle | | Pós | Grupo Experimental | | Grupo Controle | |
|-----|--------------------|---------|----------------|---------|-----|--------------------|---------|----------------|---------|
| | Acerto | % | Acerto | % | | Acerto | % | Acerto | % |
| Q1 | 12 | (48,0%) | 9 | (50,0%) | Q1 | 17 | (68,0%) | 13 | (72,2%) |
| Q2 | 15 | (60,0%) | 9 | (50,0%) | Q2 | 13 | (52,0%) | 8 | (44,4%) |
| Q3 | 3 | (12,0%) | 1 | (5,6%) | Q3 | 3 | (12,0%) | 2 | (11,1%) |
| Q4 | 3 | (12,0%) | 1 | (5,6%) | Q4 | 3 | (12,0%) | | |
| Q5 | 1 | (4,0%) | 1 | (5,6%) | Q5 | 2 | (8,0%) | | |
| Q6 | 6 | (24,0%) | 6 | (33,3%) | Q6 | 9 | (36,0%) | 6 | (33,3%) |
| Q7 | 6 | (24,0%) | 10 | (55,6%) | Q7 | 11 | (44,0%) | 10 | (55,6%) |
| Q8 | 3 | (12,0%) | 2 | (11,1%) | Q8 | 8 | (32,0%) | 6 | (33,3%) |
| Q9 | 7 | (28,0%) | 7 | (38,9%) | Q9 | 10 | (40,0%) | 4 | (22,2%) |
| Q10 | 4 | (16,0%) | 5 | (27,8%) | Q10 | 5 | (20,0%) | 3 | (16,7%) |
| Q11 | 6 | (24,0%) | 1 | (5,6%) | Q11 | 4 | (16,0%) | | |
| Q12 | 3 | (12,0%) | 2 | (11,1%) | Q12 | 5 | (20,0%) | | |
| Q13 | 2 | (8,0%) | 2 | (11,1%) | Q13 | 5 | (20,0%) | 1 | (5,6%) |
| Q14 | 3 | (12,0%) | 3 | (16,7%) | Q14 | 6 | (24,0%) | 2 | (11,1%) |

As respostas das questões do pré-teste e do pós-teste foram submetidas ao teste Mann-Whitney para amostras não pareadas, assim como estas mesmas questões agrupadas por conceitos, a fim de verificar se existe diferença significativa entre os grupos experimental e controle, isto é, quando $p < 0,05$ (tabela 2).

Tabela 2.
Média de acertos .

| Variável | Grupo | n | Média de Acertos | Desvio-padrão | Rank Médio | p |
|---|--------------|----|------------------|---------------|------------|-------|
| Total Acertos Pré | Experimental | 25 | 3.0 | 1.2 | 20.94 | 0.50 |
| | Controle | 18 | 3.3 | 1.4 | 23.47 | |
| Total acertos Pós | Experimental | 25 | 4.0 | 1.6 | 25.26 | 0,04* |
| | Controle | 18 | 3.1 | 0.9 | 17.47 | |
| Total de acertos Força Elétrica Pré | Experimental | 25 | 1.2 | 0.7 | 22.9 | 0.54 |
| | Controle | 18 | 1.1 | 0.8 | 20.75 | |
| Total de acertos Força Elétrica Pós | Experimental | 25 | 1.4 | 0.6 | 22.52 | 0.71 |
| | Controle | 18 | 1.3 | 0.7 | 21.28 | |
| Total de acertos Campo Elétrico Pré | Experimental | 25 | 1.2 | 0.9 | 19.38 | 0.09 |
| | Controle | 18 | 1.7 | 1.1 | 25.64 | |
| Total de acertos Campo Elétrico Pós | Experimental | 25 | 1.8 | 1.1 | 23.02 | 0.51 |
| | Controle | 18 | 1.6 | 1.1 | 20.58 | |
| Total de acertos Potencial Elétrico Pré | Experimental | 25 | 0.6 | 0.7 | 22.86 | 0.55 |
| | Controle | 18 | 0.4 | 0.6 | 20.81 | |
| Total de acertos Potencial Elétrico Pós | Experimental | 25 | 0.8 | 0.8 | 26.2 | 0,03* |
| | Controle | 18 | 0.2 | 0.4 | 16.17 | |
| | | | | | | |

Através dos resultados do teste Mann-Whitney verifica-se que existe diferença significativa entre os grupos apenas para o Total de acertos Pós e Total de acertos Potencial Elétrico Pós.

Através do teste de Wilcoxon para amostras pareadas, analisamos se houve diferença entre dois momentos (pré e pós-teste) . Os resultados desse teste são apresentados na tabela abaixo para as diferenças consideradas significativas ($p < 0,05$), antes e após a utilização da simulação computacional (tabela 3).

Tabela 3.

Teste de Wilcoxon para a comparação do total de acertos e total de acertos por conceito entre pré e pós-teste

| Grupo = Experimental | | | | |
|---|-------|---------------|-------|--|
| Variável | Média | Desvio-padrão | p | |
| Total Acertos Pré | 3.0 | 1.2 | 0,02* | |
| Total acertos Pós | 4.0 | 1.6 | | |
| Total de acertos Força Elétrica Pré | 1.2 | 0.7 | 0.32 | |
| Total de acertos Força Elétrica Pós | 1.4 | 0.6 | | |
| Total de acertos Campo Elétrico Pré | 1.2 | 0.9 | 0.33 | |
| Total de acertos Campo Elétrico Pós | 1.8 | 1.1 | | |
| Total de acertos Potencial Elétrico Pré | 0.6 | 0.7 | 0,01* | |
| Total de acertos Potencial Elétrico Pós | 0.8 | 0.8 | | |
| | | | | |

| Grupo = Controle | | | | |
|---|-------|---------------|-------|--|
| Variável | Média | Desvio-padrão | p | |
| Total Acertos Pré | 3.3 | 1.4 | 0.75 | |
| Total acertos Pós | 3.1 | 0.9 | | |
| Total de acertos Força Elétrica Pré | 1.1 | 0.8 | 0.32 | |
| Total de acertos Força Elétrica Pós | 1.3 | 0.7 | | |
| Total de acertos Campo Elétrico Pré | 1.7 | 1.1 | 0.16 | |
| Total de acertos Campo Elétrico Pós | 1.6 | 1.1 | | |
| Total de acertos Potencial Elétrico Pré | 0.4 | 0.6 | 0,01* | |
| Total de acertos Potencial Elétrico Pós | 0.2 | 0.4 | | |
| | | | | |

Através dos resultados do teste de Wilcoxon verifica-se que existe diferença significativa no Total de acertos e no Total de acertos Potencial Elétrico para o grupo experimental. Sendo que este grupo teve melhor desempenho no pós-teste.

Através dos resultados do teste de Wilcoxon verifica-se que existe diferença significativa no Total de acertos Potencial Elétrico para o grupo controle. Sendo que este grupo teve melhor desempenho no pré-teste.

Sendo estes resultados bastantes insubstanciais, para nossa análise, nos debruçamos na análise interpretativa a fim de obter uma compreensão holística do que ocorreu durante as simulações. Devemos ter sempre em mente que os testes quantitativos, sendo os mesmos

baseados fortemente no modelo de mudança conceitual, podem não ser fidedignos dentro do nosso referencial teórico específico, o de evolução conceitual, dentro da Aprendizagem Significativa, e principalmente da Aprendizagem Significativa Representacional.

4.2 Análise qualitativa.

Nesta etapa, primeiramente apresentamos os critérios utilizados na análise das respostas dos estudantes no pré-teste e no pós-teste, a seguir apresentamos os dados referentes aos resultados desta análise, utilizando como auxiliares nesta etapa as respostas do guia de simulação e as entrevistas.

Segundo Lüdke & André (1986), para obtermos uma análise fidedigna de dados qualitativos, é importante que seja utilizado o maior número possível de instrumentos na coleta e análise dos dados. Assim sendo, quando analisamos as respostas do pré, adicionalmente utilizamos a etapa de previsão do guia de simulação. Ao analisarmos as respostas do pós-teste, observamos as respostas da etapa de explicação do guia de simulação. Assim, podemos, mais claramente, evidenciar se a atividade em grupo e a simulação influenciam no conceito final do estudante. É importante salientarmos que a análise dos pré e pós-testes evidencia com bastante clareza a produção do estudante. A análise dos guias é apenas complementar.

4.2.1 Critérios utilizados para a análise das respostas dos estudantes no pré-teste e no pós-teste.

Nos instrumentos de coleta de dados foram abordados três conceitos principais e estes conceitos foram subdivididos em idéias, conforme tabela 4.

Tabela 4.
Conceitos e idéias abordados.

| Conceito principal | Idéias envolvidas |
|--------------------|--|
| Força Elétrica | Princípio da atração e repulsão. Questão 5. |
| | Intensidade da força em função do módulo das cargas. Questões 1, 2. |
| | Intensidade da força em função da distância. Questão 3. |
| | Princípio da ação e reação (3 ^o Lei de Newton). Questões 1, 2 e 5. |
| Campo Elétrico | Direção e sentido da força.. Questão 10. |
| | Intensidade da força em campo elétrico uniforme. Questão 9. |
| | Força elétrica e superposição de campo. Questões 4, 6 e 7. |
| | Movimento de cargas sujeitas a um campo elétrico uniforme. Questão 8. |
| Potencial elétrico | Direção e sentido das linhas de força em campo elétrico com descrição de potenciais. Questão 13. |
| | Intensidade de campo elétrico com descrição de potenciais em diferentes pontos. Questão 12. |
| | Movimento de cargas devido à diferença de potencial. Questão 11. |
| | Intensidade da força elétrica em campo elétrico com descrição de potenciais. Questão 14. |

Na análise qualitativa das respostas dos estudantes algumas questões tiveram um tratamento diferenciado, como é o caso das questões 1, 2 e 5, pois foram analisadas em mais de uma idéia. As respostas destas questões foram interpretadas levando em conta a análise de cada idéia separadamente.

Na análise da idéia de aplicação do princípio de ação e reação no conceito de Força elétrica, as questões 1 e 2 foram analisadas juntas, visto que se o estudante assinalasse alternativas iguais para as duas questões (exceto alternativa e) evidenciava a aplicação deste princípio, embora que assinalando alternativas a, c e d não obtivesse resposta correta quando analisada sob a idéia de intensidade de força em função do módulo das cargas.

Na questão 5 quando analisada na idéia de aplicação do princípio de atração e repulsão no conceito de Força elétrica, consideramos a aplicação deste princípio se o estudante

assinalasse alternativas a, b ou c, embora quando analisada sob o princípio da ação e reação somente alternativa b, evidenciava a aplicação do princípio da ação e reação.

A questão 3, embora analisada somente sob a idéia de intensidade da força em função da distância no conceito de força elétrica era dependente da questão 2, portanto a análise da resposta para determinar a compreensão desta idéia levou em consideração a resposta da questão 2. Abaixo descrevemos na tabela 5 o tipo de análise feita nesta questão de acordo com as alternativas escolhidas pelo estudante nas questões 2 e 3.

Tabela 5.
Análise das questões 2 e 3.

| Questão 2 - alternativa escolhida | Questão 3 - alternativa escolhida | Grau de compreensão |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| A | a | Compreende parcialmente |
| | b | Compreende parcialmente |
| | c | Compreende parcialmente |
| | d | Compreende parcialmente |
| | e | Não podemos determinar |
| B | a | Compreende parcialmente |
| | b | Compreende parcialmente |
| | c | Compreende totalmente |
| | d | Compreende parcialmente |
| | e | Não podemos determinar |
| C | a | Compreende totalmente |
| | b | Compreende parcialmente |
| | c | Compreende parcialmente |
| | d | Não compreende |
| | e | Não podemos determinar |
| D | a | Compreende parcialmente |
| | b | Não compreende |
| | c | Não compreende |
| | d | Não compreende |
| | e | Não podemos determinar |
| E | a | Não podemos determinar |
| | b | Não podemos determinar |
| | c | Não podemos determinar |
| | d | Não podemos determinar |
| | e | Não podemos determinar. |

Podemos perceber que, por exemplo, se na questão 2, a alternativa escolhida foi alternativa c, e na questão 3, a alternativa escolhida foi alternativa a, então o estudante compreende a proporcionalidade da força em função da distância entre as cargas.

Para determinar o grau de compreensão, classificamos em compreensão total, o estudante que aplica corretamente a proporcionalidade da força em função da distância, compreensão parcial, o estudante que compreende que a força diminui quando a distância entre as cargas aumenta, mas não determina a proporcionalidade, e não compreensão, o estudante que não compreende que a força diminui quando a distância aumenta.

No conceito de campo elétrico, na idéia de força elétrica e superposição de campo foram analisadas as questões 4, 6 e 7, onde foi considerado somente acerto ou erro. No entanto quando analisamos a evolução ou não evolução do estudante neste conceito, relativo a esta idéia, as três questões foram analisadas juntas e esta análise foi classificada conforme tabela 6.

Tabela 6.
Análise das questões 4, 5 e 6.

| | |
|------------------|---|
| Evolução | Quando o estudante evoluiu pelo menos duas questões |
| Evolução parcial | Quando o estudante evoluiu uma questão |
| Não evolução | Quando o estudante não evoluiu nenhuma questão |

Na questão 8, que tratava de movimento de cargas sujeitas a um campo elétrico uniforme e na questão 9 que tratava de intensidade da força em campo elétrico uniforme, ambas no conceito de campo elétrico, as respostas foram analisadas somente levando em consideração acerto e erro.

Tratando-se de direção e sentido da força no conceito de campo elétrico, foi analisada a questão 10, seguindo os critérios descritos na tabela 7.

Tabela 7.
Análise da questão 10.

| Alternativa escolhida | Grau de compreensão |
|-----------------------|-------------------------|
| A | Compreende totalmente |
| B | Compreende parcialmente |
| C | Não compreende |
| D | Não compreende |
| E | Não compreende |

Para determinar o grau de compreensão, classificamos em compreensão total o estudante que determina corretamente a direção da força elétrica no ponto considerado, compreensão parcial o estudante que percebe ser positiva a carga criadora do campo elétrico e aplica o princípio de atração e repulsão para as cargas que interagem, mesmo não considerando a existência de uma outra carga positiva que ocasiona a curvatura das linhas de força deste campo e, não compreensão o estudante que não identifica o sinal da carga criadora do campo elétrico, isto é, escolhe uma alternativa que não corresponde ao princípio de atração e repulsão.

Nas questões 11, 12, 13 e 14 no conceito de potencial elétrico as questões foram analisadas somente levando em consideração acerto e erro.

4.2.2 Análise das respostas dos estudantes relativas a cada conceito abordado.

Na etapa de análise da evolução conceitual dos estudantes, primeiramente analisamos cada idéia em cada conceito para 16 estudantes do grupo experimental e 11 estudantes do grupo de controle, demonstrando os resultados das evoluções na tabela 8.

4.2.3 Comentários de algumas evoluções.

A partir dos dados coletados, podemos fazer alguns comentários a respeito dos conceitos nos quais ocorreu evolução conceitual no grupo de estudantes experimental.

- 1) O princípio da atração e repulsão no conceito de força elétrica.

Estudante B1.

Com relação aos testes quantitativos o estudante não acertou a questão que envolvia este conceito, devido ao fato de não aplicar o princípio da ação e reação, no entanto numa análise qualitativa, o estudante aparentemente desenvolveu bem a idéia de atração e repulsão, visto que no pré-teste o estudante representava a força elétrica entre cargas de sinais opostos com vetores que representavam repulsão entre as cargas, no pós-teste modificou sua resposta para um par de vetores que representavam a atração entre as cargas. Na entrevista quando solicitado justificar sua resposta, respondeu: “Lá eu vi que quando as cargas, uma é positiva e a outra é negativa, elas se juntam”. Quando solicitado representar a força elétrica entre cargas, representou-as conforme figura abaixo.

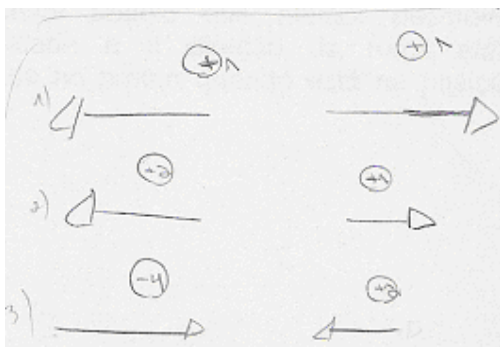


Figura B1

Apesar de termos no grupo experimental somente um estudante que acertou a questão 5 no pré-teste e dois que acertaram esta questão no pós-teste, frisamos que nesta instancia a análise é da aplicação ou não do princípio da atração e repulsão, o que necessariamente não significa obter acerto nesta questão, mas numa análise mais profunda todos os estudantes que assinalaram as alternativas a,b ou c, aplicavam este princípio. Sob esta perspectiva o quadro abaixo descreve o número de estudantes que aplica o princípio da atração e repulsão no pré-teste(grupo experimental e controle) e número de estudantes que aplica este princípio no pós-teste(grupo experimental e controle).

2) Intensidade da força em função do módulo das cargas no conceito de força elétrica.

Estudante T1.

O estudante evoluiu a idéia de força elétrica em função do módulo das cargas, como indicam as alternativas escolhidas no pós-teste comparadas com as alternativas escolhidas no pré-teste. Na entrevista foi solicitado explicar sua resposta e respondeu: “Porque colocaram o

4 e a força ficou $4F$ ". Quando perguntado sobre o que aconteceria com a força se aumentássemos o valor de uma carga, respondeu: "Eu acho que aumenta".

3) Intensidade da força em função da distância entre as cargas no conceito de força elétrica.

Estudante C2.

O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto após as atividades de simulação já concebe corretamente a direção desta proporcionalidade. Na entrevista quando questionado sobre o que aconteceria com a força se aumentássemos a distância entre as cargas, respondeu: "Eu acho que a força ia aumentar, peraí, não, se aumentar... eu acho que ia diminuir".

4) Princípio da ação e reação no conceito de força elétrica.

Estudante T1.

O estudante passou a aplicar o princípio da ação e reação, após as atividades de simulação passou a conceber força como interação e não como propriedade da carga, como demonstram as alternativas escolhidas no pós-teste.

5) Direção e sentido da força no conceito de campo elétrico.

Estudante T1.

O estudante passou a identificar o sinal da carga geradora do campo elétrico através da direção e sentido das suas linhas de força. Na entrevista, quando solicitado a justificar sua resposta da questão 10, respondeu: "Porque eu acho que ela iria vir pra cá (no sentido direita para a esquerda)". E quando perguntado sobre o sinal da carga geradora do campo, respondeu: "Positiva".

6) Intensidade da força em campo elétrico uniforme no conceito de campo elétrico.

Estudante C1.

O estudante passou a compreender que num campo elétrico uniforme a força elétrica é a mesma para uma mesma carga em diferentes posições.

7) Força elétrica e superposição de campo no conceito de campo elétrico.

Estudante L1.

O estudante teve uma evolução parcial, pois parece não operar com vetores representativos da força elétrica para sistemas de mais de duas cargas, no entanto, admite mudança na força em casos específicos. Na entrevista foi solicitado a relacionar força elétrica e campo elétrico, respondeu: “ Sempre no exercício fala que uma força atua num campo elétrico, dá pra ter uma idéia que a força tá no campo elétrico, sem campo elétrico não dá pra ter força”.

8) Movimento de cargas sujeitas a um campo elétrico uniforme no conceito de campo elétrico.

Estudante J1.

O estudante evoluiu a idéia de campo elétrico como responsável pelo movimento de cargas, determinando corretamente o tipo de movimento. Na entrevista o estudante devia representar a direção e o sentido do movimento de uma carga positiva e uma carga negativa quando soltas num campo elétrico uniforme e representou-as corretamente conforme figura abaixo.

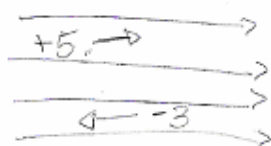


Figura J1.

9) Direção e sentido das linhas de força em um campo elétrico com descrição de potenciais no conceito de potencial elétrico.

Estudante C2.

O estudante evoluiu a idéia de direção e sentido das linhas de força em campo elétrico com descrição de potenciais, como demonstram as alternativas escolhidas no pré e pós-teste.

10) Intensidade de campo elétrico com descrição de potenciais em diferentes pontos, no conceito de potencial elétrico.

Estudante L1.

O estudante evoluiu a idéia de intensidade de campo elétrico como demonstram as alternativas escolhidas no pré e pós-teste.

11) Movimento de cargas devido à diferença de potencial no conceito de potencial elétrico.

Estudante C1.

O estudante passou a compreender a direção e o sentido do movimento de cargas num campo elétrico com descrição de potenciais, pois durante a entrevista lhe foi apresentado um campo elétrico com descrição de potenciais, conforme figura abaixo (fig. C1) e perguntado sobre o movimento de uma carga positiva solta neste campo, respondeu: “Acho que iria pro menor (direita)”. E perguntado sobre como seria o movimento, respondeu: “Velocidade constante”.

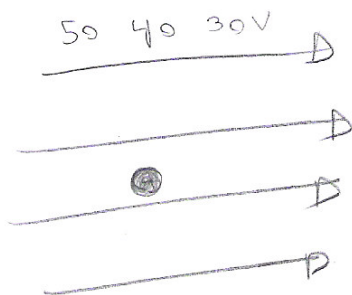


Figura C1.

12) Intensidade da força elétrica em campo elétrico com descrição de potenciais no conceito de potencial elétrico.

Estudante B1.

O estudante evoluiu a idéia de intensidade da força como demonstram as alternativas escolhidas no pré e pós-teste.

4.3 Influência das simulações computacionais na evolução conceitual.

Utilizamos como recurso complementar à análise dos pré-testes e pós-testes, o guia de simulação e as entrevistas, e nestas, observamos algumas falas em que a simulação computacional foi citada como responsável por algumas mudanças nas idéias dos estudantes, e nos guias de simulação observamos uma mudança significativa na forma como os estudantes descrevem ou representam determinadas situações.

4.3.1 Representação e evolução conceitual.

Nesta parte da análise fazemos algumas considerações a respeito da relação das representações apresentadas nas simulações computacionais e a evolução conceitual.

As representações de situações dinâmicas que são possíveis de executar com as simulações computacionais, permitem ao estudante observar e analisar movimentos de cargas que passam a fazer parte da construção de uma idéia, enriquecendo um conceito que talvez fosse concebido como uma situação estática se dependesse somente do discurso do professor e das imagens de um livro texto. O estudante D2 em sua fala durante a entrevista justificou um movimento de cargas dizendo: “Vai pros lados. Que nem aquele dia (simulação), ela se movimentava pra tudo quanto era lado”.

A simulação computacional auxilia não apenas na evolução de um conceito, como na sua própria construção. Como é o caso do estudante B1 que durante a entrevista deveria descrever o movimento de uma carga positiva e uma carga negativa que lhe foram apresentadas em um desenho, este estudante respondeu: “Porque aqui quando uma é negativa e outra positiva elas se repelem, eu acho, não, deixa eu ver, eu faço uma confusão, mas eu acho que ..., lá eu vi (na simulação) que as cargas, quando uma é positiva e outra é negativa elas se juntam”.

Outra fala que evidencia a influência da simulação computacional na evolução de um conceito é a do estudante D1 que durante a entrevista deveria descrever o que aconteceria com a força elétrica entre cargas quando a distância entre elas se tornasse maior, e respondeu: “A força diminui. E tinha uns (casos) que a força aumentava e a distância diminuía, isso tudo era dos valores que a gente colocava”.

A representação vetorial passou a fazer parte da representação de campo elétrico e força elétrica para alguns estudantes. No item 15 do guia de simulação durante uma etapa de comparação, o estudante C1 descreveu que a diferença entre o previsto e o observado foi que “quanto mais perto chegar do campo elétrico maior é a flecha do vetor.”

4.3.2 A evolução conceitual no agrupamento de questões.

Conforme os resultados dos testes Wilcoxon e Mann-Whitney houve diferença significativa pré e pós-teste no conceito de potencial elétrico para o grupo experimental, obtemos uma média de acertos de 0.6 para o pré-teste e 0.8 para o pós-teste.

Nos testes, as questões que tratavam do conceito de potencial elétrico exploravam situações onde o estudante deveria: descrever o movimento de cargas quando colocadas numa região de um campo elétrico com descrição de potenciais, determinar a intensidade do campo elétrico em função das linhas de força e identificar a direção da força elétrica em uma carga quando colocada em diferentes pontos de um campo elétrico. Para que o estudante pudesse obter êxito nas respostas da maioria destas questões, deveria antes de tudo, determinar a direção e o sentido das linhas de força através da descrição dos potenciais em diferentes pontos. As respostas dos estudantes nos pós-testes dão indícios de que a evolução geral neste conceito, deve-se, principalmente a uma evolução desta idéia (direção e sentido das linhas de força em um campo elétrico com descrição de potenciais), como demonstramos através da interpretação das respostas dos estudantes nas questões juntamente com a representação em lápis e papel, as falas das entrevistas e o guia de simulação no item 4.2.3.

Durante as atividades de simulação, os estudantes visualizavam uma representação de campo elétrico com descrição de potenciais e observavam a direção e o sentido do movimento de uma carga ali colocada, a representação animada possibilita ao estudante construir uma idéia de campo elétrico como algo responsável pelo movimento de cargas, objetivo este, que dificilmente seria alcançado com representações estáticas, uma vez que a simples observação do movimento, faz com que o estudante reflita sobre sua causa e teste suas hipóteses cognitivas.

4.4 Opinião dos estudantes a respeito da atividade.

Acreditamos que a opinião dos estudantes a respeito das atividades realizadas é de grande valia para a pesquisa em Ensino, uma vez que o estudante é sujeito da construção do seu próprio conhecimento, e é nele que se concentram os nossos maiores esforços na tarefa de encontrar meios que facilitem o aprendizado.

Nosso objetivo nesta etapa da entrevista foi de avaliar a atividade desenvolvida, resultando daí, um possível ajuste na metodologia de pesquisas futuras. A nossa maior preocupação durante a realização das atividades, foi a respeito das representações utilizadas, uma vez que os estudantes não possuíam familiaridade com atividades de simulações computacionais.

Estudante B1:

“Pra mim não foi nada difícil. Achei Legal. Só aquela hora que a gente apertava e saía flechinha pra tudo quanto era lado, daí eu não sabia se aquilo tava saindo ou tava entrando”(experimento 2).

Estudante L1:

“De ruim não achei nada, é bom porque a gente mesmo pôde avaliar o que a gente sabia, o que a gente não sabia e como a gente pensava e agora como a gente pensou. Foi bom.”

Estudante C2:

“Eu acho que eu entendi aquelas primeiras perguntas, sobre que tinha que dizer os valores, aquilo eu entendi, porque tinha que pensar um pouco, teve algumas que a gente não entendeu. Alguns desenhos eram bem complicados”.

Estudante C3:

“Achei bem bom o programa, bem fácil de manusear”.

Estudante J1:

“ Não é tão difícil, o guia é um pouco grande”.

Estudante C1:

“Eu acho que foi melhor, até porque a gente teve que responder antes da simulação. Mas teve alguns desenhos que eu fiquei meio em dúvida. Ficou bem fácil de aprender, porque a gente colocava o que achava e via o que tava errado e o que tava certo. Tu falando e explicando é diferente da gente vendo como funciona. Como tu fez ali, da gente fazer antes e depois ver, é melhor porque a gente vê onde tá os nossos erros”.

CONCLUSÃO

Algumas considerações a respeito de dificuldades e observações a respeito do formato da atividade experimental: Quanto à metodologia de uso de simulação empregada neste trabalho, constatamos que a técnica POE (Predizer, Observar e Explicar) pareceu-nos ser bem indicada para este tipo de atividade, uma vez que os estudantes respeitaram as etapas a serem seguidas, e realmente concentraram-se na resolução de cada etapa. A atividade em dupla favoreceu a troca de idéias, a ajuda mútua e evitou que os estudantes não se desmotivassem até o final da atividade.

Os testes utilizados mostraram-se eficientes quanto a abordagem dos conceitos, no entanto acreditamos que as alternativas referentes a algumas questões deveriam ter sido modificadas, a fim de que em nenhum momento o estudante fosse sugestionado pelas respostas apresentadas.

Durante a etapa da entrevista, encontramos algumas dificuldades, pois alguns estudantes sentiram-se inibidos em dar uma resposta a pergunta formulada pelo entrevistador, um questionário escrito talvez tivesse sido de mais valia para a posterior análise.

As simulações computacionais foram elaboradas com o objetivo principal de proporcionar ao estudante a visualização de uma situação dinâmica, onde o estudante pudesse interagir com esta situação, modificando e testando seus modelos cognitivos.

É importante destacar também que existe uma relação entre o tipo de abordagem utilizada nas simulações computacionais e a utilizada pelo professor em sala de aula,

ênfatizando tipos de representaçaõ específicos. Todas as atividades de simulaçaõ foram elaboradas visando uma representaçaõ dinãmica daquelas jã vistas em sala de aula.

No nosso caso, o professor titular das turmas foi o mesmo que realizou as atividades de simulaçaõ, utilizando a mesma abordagem em sala de aula (exceto animaçaõ) para o ensino da Eletrostática. Desde o início, as aulas foram ministradas ênfatizando os tipos de representaçaõ das situaçaõs exploradas.

O principal objetivo do nosso trabalho, que dissertou sobre a utilizaçaõ de simulaçaõs computacionais no ensino de Eletrostática, é investigar se a utilizaçaõ das simulaçaõs computacionais provocam evoluçaõ conceitual nos estudantes, relativas a este conteúdo – com foco na evoluçaõ da utilizaçaõ de representaçaõs pertinentes ao aprendizado do conceitos.

A utilizaçaõ de uma abordagem que tenta unir as visões qualitativa e quantitativa de forma conjunta em nosso trabalho foi viável e importante. O diálogo entre estes dois paradigmas de Pesquisa em Ensino nos permitiu, de um lado, tentar estabelecer comportamentos gerais para a amostra e, ao mesmo tempo, analisar o diagnóstico desses comportamentos com um estudo mais detalhado de alguns casos.

Inicialmente, fizemos uma análise quantitativa a fim de averiguar diferenças significativas no grupo experimental relativas aos pré-testes e pós-testes, isto foi feito para cada questão e também para o grupo de controle. Após, fizemos a análise por agrupamento de questões de acordo com o conceito abrangente, também relativa as diferenças significativas entre os dois grupos nos dois momentos (pré e pós-teste). E, finalmente fizemos uma análise a fim de averiguar diferenças significativas entre os totais de acertos pré-teste e pós-teste para os dois grupos.

Através dos métodos estatísticos, comprovamos a fidedignidade da hipótese de evoluçaõ conceitual, ou seja, os resultados mostraram-nos que estatisticamente, houve diferença significativa do conceito Potencial Elétrico entre o pré e o pós-teste e diferença significativa relativa ao total geral de acertos entre pré-teste e pós-teste. Contudo, é evidente que os resultados, conforme mensurados pelo teste quantitativo, deixaram a desejar. Não houve diferença estatisticamente significativa para todos os demais conceitos trabalhados,

inclusive o conceito de campo elétrico e força elétrica, com uma grande dose de representações que podem auxiliar no desenvolvimento do conceito, até mesmo maior que o conceito de potencial elétrico. Assim, nos somos forçados a concluir que o uso de simulações, dentro do desenho experimental utilizado e dos testes quantitativos utilizado, se revelou ineficiente para a promoção de uma evolução conceitual.

Contudo, também nos debruçamos em uma análise interpretativa dos resultados, que, como já é bem documentado na literatura, serve-se exatamente para levantar hipóteses de forma indutiva sobre o quê, de fato, ocorreu durante a atividade de simulação.

A partir da análise quantitativa, procedemos a uma análise qualitativa das respostas de alguns dos estudantes, utilizando como auxiliares nesta etapa, os guias de simulação e as entrevistas, a fim de verificarmos dentro de cada conceito abordado, quais foram as idéias que evoluíram e tentar identificar os fatores que poderiam ter contribuído para esta evolução.

Os resultados desta análise indicaram que as atividades de simulações computacionais contribuíram para a evolução conceitual de alguns estudantes.

Servindo de exemplo, o caso do estudante B1 que evoluiu a idéia do princípio da atração e repulsão no conceito de força elétrica, na entrevista, quando solicitado justificar sua resposta da questão 5, respondeu: “Lá eu vi que quando as cargas, uma é positiva e a outra é negativa, elas se juntam”.

Outro exemplo de evolução é o caso do estudante T1 que evoluiu a idéia de direção e sentido da força causada por um campo elétrico não uniforme no conceito de campo elétrico. O estudante passou a identificar o sinal de uma carga geradora de um campo elétrico, através das linhas de força deste campo.

No conceito de potencial elétrico, a evolução conceitual foi significativa, pois os estudantes passaram a identificar a direção e o sentido do movimento de uma carga colocada numa região de um campo elétrico com descrição de potenciais.

De uma forma geral, a representação vetorial passou a fazer parte da representação de campo elétrico e força elétrica para alguns estudantes. No item 15 do guia de simulação

durante uma etapa de comparação, o estudante C1 descreveu que a diferença entre o previsto e o observado foi que “quanto mais perto chegar do campo elétrico maior é a flecha do vetor.”

Tratando-se de campo elétrico e força elétrica uma observação pertinente foi de que nas etapas de previsão do guia de simulação, a maioria dos estudantes tinha certa dificuldade em representar situações com desenhos. Contudo, após as atividades de simulação computacional, na etapa da entrevista, estes estudantes passaram a expor suas idéias utilizando um desenho representativo da situação, com uma própria utilização de representações pertinentes aos conceitos envolvidos na situação-problema em questão.

Em suma, ao se considerar ambas técnicas quantitativas e interpretativas, utilizadas na análise dos resultados, podemos levantar a hipótese que os estudantes, de fato, apresentaram uma evolução na forma de representar determinados conceitos (força e campo elétrico, principalmente), com a utilização de vetores, mesmo que com algumas imprecisões. Estas representações não eram utilizadas previamente pelos estudantes, e muitos fazem várias referências à utilização das simulações quando necessitam representar os conceitos durante a etapa da entrevista. Assim, de fato, a atividade de simulação é capaz de prover aos estudantes uma evolução nas representações e nas regras de utilização destas representações – regras do tipo “se isto... então aquilo”, como se a carga é positiva, a direção do vetor campo elétrico é esta. Consideramos, portanto, dentro do referencial teórico utilizado nesta pesquisa, de Aprendizagem Significativa, que a atividade atingiu um sucesso parcial. Conjeturamos que, talvez se a atividade fosse mais longa, e os estudantes utilizassem as simulações/representações para o estudo de situações cuja complexidade conceitual aumentasse gradativamente, poderíamos atingir um crescimento conceitual de fato – que seria, então, detectado pelo teste quantitativo.

Podemos concluir através das análises realizadas que a utilização de simulações computacionais como auxiliar no ensino da Eletrostática aparenta ser de grande valia para provocar evolução conceitual nos estudantes, principalmente no tocante aos tipos de representação utilizados.

REFERÊNCIAS

DOMINGUEZ, Maria Eugênia D. *Detecção de alguns conceitos intuitivos em eletricidade através de entrevistas clínicas*. Porto Alegre: UFRGS, 1985. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985.

ESQUEMBRE, F. Computers in physics education. *Computer Physics Communications*, v.147, p. 13-18, ago. 2002.

FURASTÉ, Pedro Augusto. *Normas Técnicas para o Trabalho Científico*. Explicitação das Normas da ABNT. 13 ed. Porto Alegre: (s.n.), 2004.

FURIÓ, Carles; GUIASOLA, Jenaro. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en eletrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las ciencias*, v. 17, n. 3, p. 441-452, 1999.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las ciencias*, v. 19, n.3, p.319-334, 2001.

GAMBOA, Silvio Sánchez.; SANTOS FILHO, José Camilo dos. (org.) *Pesquisa Educacional: quantidade-qualidade*. 5 ed. São Paulo: Cortez, 2002. (Coleção Quesotes da Nossa época, v.42).

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría Del aprendizaje significativo. *Revista Ciência e Educação*, v. 9, n. 2, p. 301-315, 2003.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M.E.D.A. *Pesquisa em Educação: Abordagem qualitativa*. São Paulo: EPU. 1986.

MALONEY, David P.; O'KUMA, Thomas L.; HIEGGELKE, Curtis J.; HEUVELEN, Alan Van. Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl.*, v. 69, n. 7, jul. 2001.

MARTIN, José; SOLBES, Jordi. Diseño y evolución de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en Física. *Enseñanza de las ciencias*, v. 19, n. 3, p. 393-403, 2001.

MEDEIROS, A. & MEDEIROS, C. F. Possibilidade e limitações das simulações computacionais no ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 2, p. 77-86, jul. 2002.

MOREIRA, Marco Antonio. A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. In: MOREIRA, Marco Antonio. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999. P. 151-165.

MOREIRA, Marco Antônio. *Pesquisa em ensino: O vê epistemológico de Gowin*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1990.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigação em ensino de ciências*, v. 1, n. 1, 1996.

POSNER, G.; STRIKE, K.; HEWSON, P. & GERTZOG, W. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, p. 211-227, 1982.

REIS, M. A. F. *Uso de simulações computacionais no ensino de colisões mecânicas*. Canoas: ULBRA, 2003. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Luterana do Brasil, 2003.

SIMULAÇÃO: Electric Field Lines. Disponível em: <http://www.phas.ucalgary.ca/physlets>, acessado em 10 de junho de 2003.

TEODORO, V.D.; VIEIRA, J.P.D.; CLÉRIGO, F.C. *Modellus 2.5: interactive modelling witch mathematica*. Monte Caparica: Faculdade de Ciência e Tecnologia. Universidade Nova Lisboa. 2002. Disponível em: <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus> acesso em 10 de junho de 2003.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.24, n. 2, jun. 2002.

WHITE, R. T. & GUNSTONE, R. F. *Probing understanding*, London: Falmer, 1992. Cited as: TAO, P. K.; & GUNSTONE, R. F. A process of conceptual change in force and motion during computer-supported Physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, p.859-882, 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE 1- Pré-teste e pós-teste de concepções dos estudantes.

APÊNDICE 2- Guia para utilização do software modellus em simulações de Eletrostática.

APÊNDICE 3 – Tabelas e figuras

APÊNDICE 1

PRÉ-TESTE DE CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES

Pesquisadora:

Data:

Aluno:

Para as questões 1 – 3.

Dois pequenos objetos, cada um com uma carga $+Q$ exercem uma força de intensidade F um no outro.



Nós substituímos um dos objetos por outro cuja carga é $+4Q$:



1) A intensidade da força na carga de $+Q$ era F ; qual é agora a intensidade da força que atua na carga $+Q$?

- a) $16 F$ b) $4 F$ c) F
 d) $F/4$ e) outra

2) Qual a intensidade da força que atua na carga $+4Q$?

- a) $16 F$ b) $4 F$ c) F d) $F/4$ e) outra

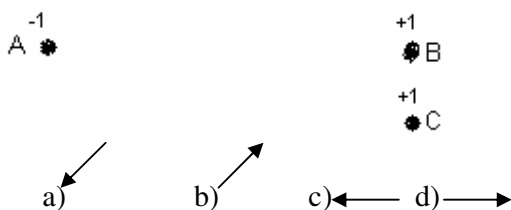
Agora nós movemos a carga $+Q$ e a carga $+4Q$ para três vezes a distância anterior.



3) Agora qual é a intensidade da força na carga $+4Q$?

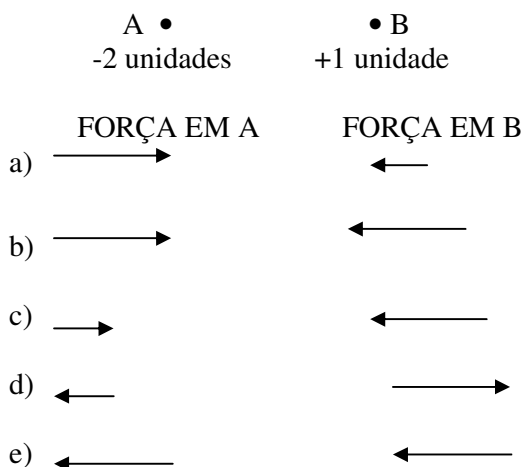
- a) $F/9$ b) $F/3$ c) $4F/9$ d) $4F/3$ e) outra

4) Qual dessas setas indica a direção da força na carga B?



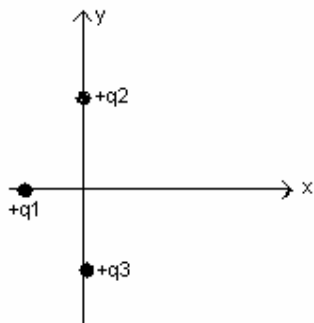
e) nenhuma destas.

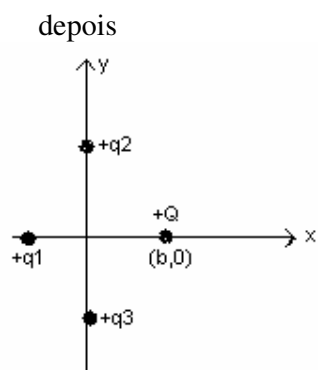
5) O quadro abaixo descreve uma partícula(B) que tem uma carga elétrica de +1 unidade. Vários centímetros à esquerda há outra partícula(A) com uma carga de -2 unidades. Escolha o par de vetores de força (setas) que corresponde corretamente à força elétrica em A (causada por B) e a força elétrica em B (causada por A).



6) Na figura abaixo, cargas positivas q_2 e q_3 exercem na carga q_1 uma força elétrica apontada ao longo do eixo x. Se uma carga positiva Q é acrescentada a (b,0) o que acontecerá à força em q_1 ? (todas as cargas são fixas).

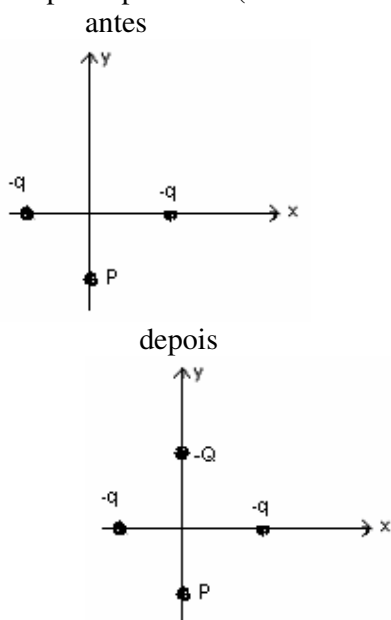
antes





- nenhuma mudança na intensidade da força, visto que Q está no eixo x .
- a intensidade da força mudará, mas não a sua direção.
- a força diminuirá e a direção pode mudar por causa da interação entre Q e as cargas q_2 e q_3 .
- a força aumentará e a direção pode mudar por causa da interação entre Q e as cargas q_2 e q_3 .
- não podemos determinar sem saber a intensidade em q_1 e/ou Q .

7) Na figura abaixo, o campo elétrico no ponto P é dirigido para cima ao longo do eixo y . se uma carga negativa $-Q$ é acrescentada a um ponto no eixo y positivo, o que acontece ao campo no ponto P ? (Todas as cargas são fixas).



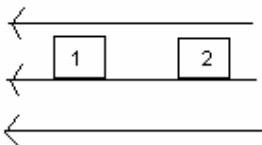
- nada, desde que a carga $-Q$ esteja no eixo y .
- a força aumentará e a direção pode mudar por causa das interações entre a carga $-Q$ e as novas cargas q negativas.

- c) a força diminuirá e a direção pode mudar por causa das interações entre a carga $-Q$ e as novas cargas q negativas.
- d) a força aumentará e a direção pode mudar por causa das interações entre a carga $-Q$ e as novas cargas q negativas.
- e) não podemos determinar sem saber as forças que a carga $-Q$ exercem nas duas novas cargas q negativas.

8) Uma carga positiva é colocada em repouso no centro de uma região do espaço no qual há um campo elétrico uniforme tridimensional. (Um campo elétrico uniforme é um campo cuja força (intensidade, direção e sentido) é a mesma em todos os pontos da região). Quando a carga positiva é solta no campo elétrico uniforme, qual será o seu movimento subsequente?

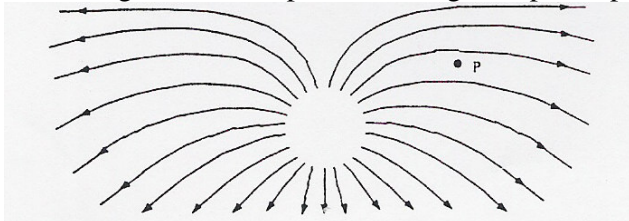
- a) se moverá com uma rapidez constante.
- b) se moverá com uma velocidade constante.
- c) se moverá com uma aceleração constante.
- d) se moverá linearmente com aceleração variável.
- e) permanecerá em repouso em sua posição inicial.

9) Uma carga positiva pode ser colocada em um de dois lugares diferentes em uma região onde há um campo elétrico uniforme, como mostrado abaixo. Como ficam as forças nas posições 1 e 2?



- a) a força na carga é maior em 1.
- b) a força na carga é maior em 2.
- c) a força na carga em ambas as posições é zero.
- d) a força na carga em ambas as posições é a mesma, mas não é zero.
- e) a força na carga em ambas as posições tem a mesma intensidade, mas direções opostas.

Use o diagrama de campo elétrico seguinte para a pergunta 10.



10) Qual é a direção da força elétrica em uma carga negativa no ponto P do diagrama?

- a) ← b) ↙ c) → d) ↗ e) a força é zero

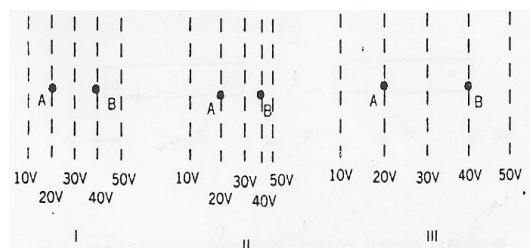
11) Um elétron é colocado em uma posição no eixo x onde o potencial elétrico é $+10\text{ V}$. Que idéia abaixo melhor descreve o movimento do elétron?

- a) o elétron se moverá para a esquerda ($-x$), visto que é carregado negativamente.
 b) o elétron se moverá para a direita ($+x$), visto que é carregado negativamente.
 c) o elétron se moverá para a esquerda ($-x$) onde o potencial é positivo.
 d) o elétron se moverá para a direita ($+x$) onde o potencial é positivo.
 e) o movimento não pode ser predito com a informação dada.

Para as questões 12 e 13.

Nas figuras abaixo, as linhas pontilhadas representam as linhas equipotenciais do campo elétrico.

(Uma carga se move ao longo da linha de igual potencial com uma energia potencial elétrica constante). Um objeto carregado se move do ponto A para o ponto B. A carga do objeto é $+1\mu\text{C}$.



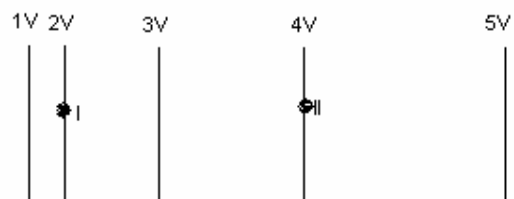
12) Quais são as intensidades dos campos elétricos em B, comparando os três casos?

- a) $1 > 3 > 2$
 b) $1 > 2 > 3$
 c) $3 > 1 > 2$
 d) $2 > 1 > 3$
 e) $1 = 2 = 3$

13) No caso 3 qual é a direção da força elétrica exercida no campo pela carga de $1\mu\text{C}$ quando em A e quando em B?

- a) para a esquerda em A e para a esquerda em B.
 b) para a direita em A e para a direita em B.
 c) para a esquerda em A e para a direita em B.
 d) para a direita em A e para a esquerda em B.
 e) não existe força elétrica em ambos.

14) Um próton está primeiro em repouso na posição 1 e depois então, na posição 2 em uma região cujo potencial elétrico (voltagem) é descrito nas linhas equipotenciais. Qual a alternativa abaixo que melhor descreve a intensidade e a direção da força elétrica exercida no próton quando está na posição 1 ou 2?



- | | Força em 1 | Força em 2 |
|----|------------|------------|
| a) | | |
| b) | | |
| c) | | |
| d) | | |
| e) | 0 | 0 |

APÊNDICE 2

GUIA PARA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE MODELLUS EM SIMULAÇÕES DE ELETROSTÁTICA.

Projeto de Tese de Mestrado – Josiane Maria Weiss.


Nomes:

Turma:

Data:

O guia de simulação tem como objetivo orientar você, aluno, na realização das simulações computacionais. O guia utiliza a técnica descrita como POE (Predizer – Observar – Explicar). Esta técnica tem sido utilizada com sucesso e consiste em fazer com que você, aluno, tente prever o que vai ocorrer antes da simulação e registre, escrevendo, o que você espera que ocorra. Em seguida, você efetua a simulação, observando o que acontece e finalmente, compara o que você esperava que fosse acontecer com o que foi simulado, tentando explicar diferenças entre o observado e o previsto por você, se houverem diferenças. Para que este trabalho seja fiel ao que se propõe, pedimos que você siga fielmente esta técnica, não simulando o comportamento antes de ter refletido sobre o que irá acontecer e ter registrado neste guia a sua previsão. BOM TRABALHO!

Experimento 1 – Força elétrica.

1 – Procure em sua área de trabalho (tela), o botão  do Modellus25BR. Com o botão esquerdo do mouse dê dois cliques abrindo o programa, obtendo uma tela conforme a figura 1.

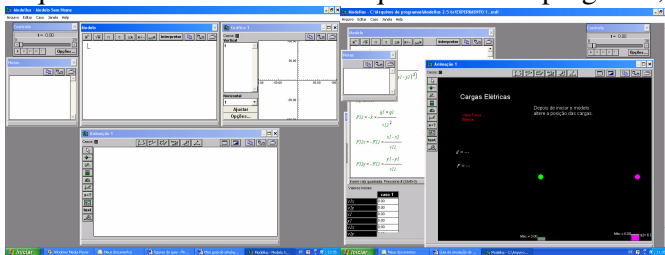


Figura 1

Figura 2

2 – Clique em **arquivo** (acima, parte esquerda), **abrir**, e procure, na pasta Modellus25BR, **Força elétrica**, clique uma vez com o botão esquerdo do mouse em **Força elétrica**, e clique uma vez em **abrir**. Você verá as janelas da figura 2.

Você estará realizando um experimento com cargas pontuais. Neste experimento você poderá observar a variação da força elétrica.

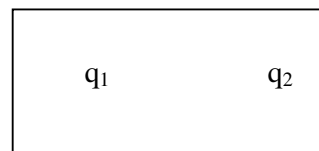
FORÇA ELÉTRICA EM CARGAS DE MESMO SINAL.

3 – **Previsão:** Inicialmente, escolha, discutindo com sua dupla, valores e sinais iguais para as cargas q_1 e q_2 .

Anote abaixo os valores escolhidos:

| | | | |
|-------|--|-------|--|
| q_1 | | q_2 | |
| | | | |

Ao colocar estas cargas separadas por uma distância “d”, uma força elétrica se estabeleceu entre elas. Desenhe abaixo, estas forças, e utilize as linhas para explicar conforme você prevê que aconteça. Se você acha que ocorrerá movimento, descreva.



4 – **Verificação:** Na janela **condições iniciais** (figura 3) digite os valores escolhidos para q_1 e q_2 na tabela **parâmetros**. Rode a simulação clicando na seta vermelha da janela **controle** (figura 4).



Figura 3

Figura 4

Observe e desenhe/escreva abaixo o observado na simulação.

| | |
|-------|-------|
| q_1 | q_2 |
|-------|-------|

5 – **Comparação:** No que a sua previsão difere do observado? Discuta com seu colega o que ocorreu.

FORÇA ELÉTRICA EM CARGAS DE MESMO SINAL EM FUNÇÃO DO MÓDULO DAS CARGAS.

6 – **Previsão:** Escolha agora, um valor muito maior para q_1 e conserve o valor de q_2 , lembre-se que os sinais das duas cargas devem ser iguais. Anote abaixo os valores escolhidos:

| | | | |
|-------|--|-------|--|
| q_1 | | q_2 | |
|-------|--|-------|--|

Desenhe abaixo, conforme você prevê que aconteça, utilize as linhas abaixo para fazer mais comentários.

| | |
|-------|-------|
| q_1 | q_2 |
|-------|-------|

7 – **Verificação:** Na janela **condições iniciais** digite o novo valor de q_1 na tabela **parâmetros**. Rode a simulação clicando na seta vermelha da janela **controle**. Observe e desenhe/escreva abaixo o observado na simulação.

| | |
|-------|-------|
| q_1 | q_2 |
|-------|-------|

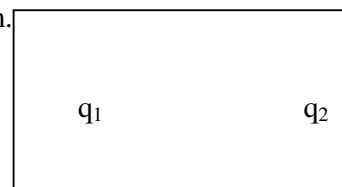
8 – **Comparação:** No que a sua previsão difere do observado?

FORÇA ELÉTRICA EM CARGAS DE SINAIS CONTRÁRIOS.

9 – **Previsão:** Escolha agora, valores iguais, porém sinais contrários para as cargas. Anote abaixo os valores escolhidos:

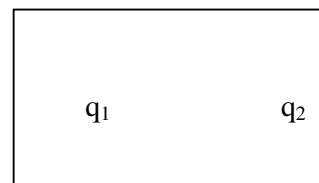
| | | | |
|-------|--|-------|--|
| q_1 | | q_2 | |
|-------|--|-------|--|

Desenhe abaixo as forças, conforme você prevê que aconteça, utilize as linhas abaixo para fazer mais comentários, descrevendo seus movimentos, se existirem.



10 – **Verificação:** Digite os valores e sinais das cargas na janela **condições iniciais** e rode a simulação clicando na seta vermelha da janela **controle**.

Escreva e desenhe abaixo o observado na simulação.



11 – **Comparação:** No que a sua previsão difere do observado?

Experimento 2 – Campo elétrico.

CAMPO ELÉTRICO.

O conceito de campo que surgiu no século XIX é atualmente um dos conceitos físicos de maior importância.

Muitos aspectos do campo elétrico são análogos aos do campo gravitacional. A Terra, como qualquer outro corpo com massa, é concebida como se tivesse em torno de si uma “aura”, que é o campo gravitacional. Pode-se pensar no campo gravitacional como uma parte real, mas não propriamente material, do objeto com massa, que preenche todo o espaço que o circunda. Quando colocamos nas proximidades da Terra um objeto, ele estará imerso no campo gravitacional da Terra, o peso deste objeto, é devido à ação do campo gravitacional. Um aspecto do conceito de campo é o da noção de que uma massa possui em torno de si um campo, independentemente de existirem ou não outras massas por perto, que possam vir a “senti-lo”. O campo gravitacional é indissociável da massa, ela sempre o traz consigo, sendo impossível separar uma da outra. É devido ao campo gravitacional do Sol, que a Terra gira em torno dele. Ao redor de um objeto que tem massa existe sempre uma região (“aura”) que denominamos de campo. É conveniente lembrar que o vetor que identifica o sentido do campo elétrico gerado por uma carga é também, o vetor que indica o sentido do movimento de uma carga de prova(positiva) colocada nesta região.

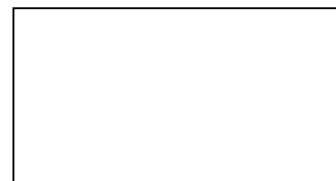
12 – Clique em **arquivo** (acima, parte esquerda), **abrir**, e procure, na pasta Modellus25BR, **Campo elétrico**, clique uma vez com o botão esquerdo do mouse em **Campo elétrico**, e clique uma vez em **abrir**.


Neste experimento você poderá ver o sentido do campo elétrico quando criado por uma carga positiva e quando criado por uma carga negativa.

CAMPO ELÉTRICO GERADO POR CARGA POSITIVA .

13 – **Previsão:** Como você acha que ficará o vetor campo elétrico quando movemos uma carga de prova (positiva) numa região onde existe um campo elétrico gerado por outra carga positiva?

Desenhe abaixo o campo elétrico juntamente com as linhas de força, e utilize as linhas abaixo para fazer mais comentários.



14 – **Verificação:** Clique em , no alto à esquerda, que representa o caso 1, clique na seta vermelha da janela **controle** para rodar a simulação, clique sobre a carga de prova (vermelha) mantendo o botão do mouse pressionado e arraste, desta forma você estará movendo-a ao longo da área. Observe que de tempo em tempo uma “marca” do vetor campo elétrico é deixada no espaço da simulação.

Observe, desenhe o campo elétrico gerado e explique.




15 – **Comparação:** No que a sua previsão difere do observado?

CAMPO ELÉTRICO GERADO POR CARGA NEGATIVA .

16 – **Previsão:** Como você acha que ficará o vetor campo elétrico quando movemos uma carga de prova (positiva) numa região onde existe um campo elétrico gerado por uma carga negativa?

Desenhe abaixo o campo elétrico juntamente com as linhas de força, e utilize as linhas abaixo para fazer mais comentários.




17 – **Verificação:** Clique em , no alto à esquerda, que representa o caso 2, clique na seta vermelha da janela **controle** para rodar a simulação, clique sobre a carga de prova (vermelha) mantendo o botão do mouse pressionado e arraste, desta forma você estará movendo-a ao longo da área. Observe que de tempo em tempo uma “marca” do vetor campo elétrico é deixada no espaço da simulação.

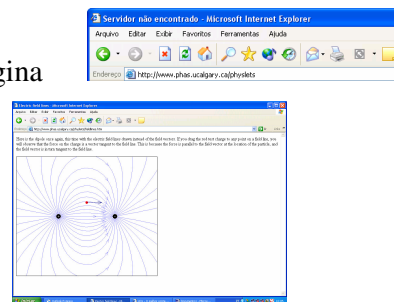
Observe, desenhe o campo elétrico gerado e explique.



18 – **Comparação:** No que a sua previsão difere do observado?

Experimento 3- Campo elétrico gerado por duas cargas.

19 - Dê dois cliques no ícone  , abrirá uma página onde você deverá digitar o endereço **www.phas.ucalgary.ca/physlets** , na nova página que abrir, vá com o cursor até o item **Electricity & Magnetism** , dê dois cliques no terceiro item que diz **Electric field lines** , abrirá uma página conforme a figura ao lado:



VETOR CAMPO ELÉTRICO.

20 - **Previsão:** Quando temos duas cargas próximas, geradoras de campos elétricos, como você prevê que fique estabelecido o vetor campo elétrico na região entre estas cargas? Desenhe abaixo, o vetor entre as cargas, e utilize as linhas abaixo para explicar conforme você prevê que aconteça.



21 - **Verificação:** Movimente a carga(bolinha vermelha), arrastando-a com o mouse para uma posição qualquer entre as cargas geradoras dos campos elétricos. Observe e desenhe/escreva abaixo o observado na simulação.



22 - **Comparação:** No que a sua previsão difere do observado? Discuta com seu colega o que ocorreu.

Experimento 4 – Movimento de cargas no campo elétrico.


Neste experimento você irá verificar como será o movimento de uma carga quando colocada numa região onde existe um campo elétrico.

MOVIMENTO DE CARGA POSITIVA NO CAMPO.

23 – **Previsão:** Como você acredita que será o movimento de uma carga de prova positiva quando colocada numa região onde existe um campo elétrico gerado por carga positiva? Haverá movimento? Será acelerado? Qual será a sua direção e o seu sentido?

Desenhe e explique o que você acha que irá ocorrer.



24 – **Verificação:** Clique em **arquivo** (acima, parte esquerda), **abrir**, e procure na pasta Modellus25BR, **Movimento de cargas**, clique uma vez com o botão esquerdo do mouse em **Movimento de cargas**, e clique uma vez em **abrir**. Clique em , no alto à esquerda, que representa o caso 1, clique na seta vermelha da janela **controle** para rodar a simulação.

Observe e desenhe/escreva o observado na simulação.

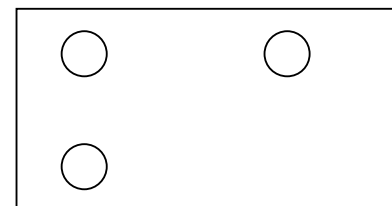


25 – **Comparação:** No que a sua previsão difere do observado?

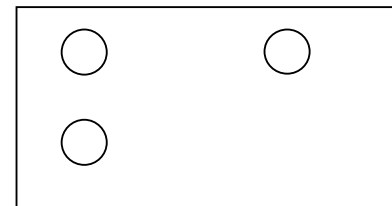
Experimento 5 - Vetor campo elétrico em 3 cargas.

VETOR CAMPO ELÉTRICO EM CARGAS POSITIVAS E NEGATIVAS.

26 - **Previsão:** Como você acha que ficarão os vetores resultantes da interação entre duas cargas positivas e uma carga negativa quando dispostas da maneira abaixo? Desenhe no espaço ao lado como você acredita que ficarão os vetores.



27 - **Verificação:** - Verificação: Clique em **arquivo** (acima, parte esquerda), **abrir**, e procure na pasta Modellus25BR, **Vetor campo elétrico em 3 cargas**, clique uma vez com o botão esquerdo do mouse em **Vetor campo elétrico em 3 cargas**, e clique uma vez em **abrir**. Rode a simulação clicando na seta vermelha da janela **controle**, em seguida, com a simulação rodando clique sobre a carga vermelha arrastando-a para o lugar escolhido.



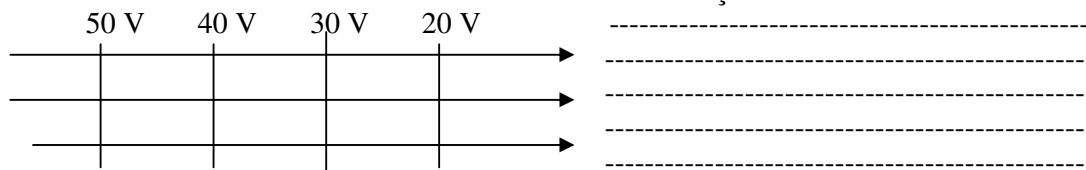
Observe e desenhe ao lado o observado na simulação.

28 - **Comparação:** No que a sua previsão difere do observado?

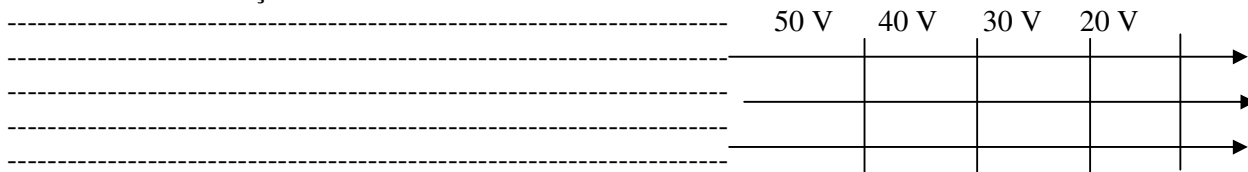
Experimento 6 - Movimento de cargas num campo elétrico uniforme sujeito a diferentes potenciais.

MOVIMENTO DE CARGA POSITIVA.

29 - **Previsão:** Como você acha que será o movimento de uma carga positiva quando colocada em uma região de um campo elétrico uniforme com as descrições de potenciais como mostrado abaixo? Desenhe a direção e o sentido do seu movimento e descreva este movimento. Será com velocidade constante? Será com aceleração constante?



30 - **Verificação:** Clique em **arquivo** (acima, parte esquerda), **abrir**, e procure na pasta Modellus25BR, **Campo elétrico com descrição de potenciais**, clique uma vez com o botão esquerdo do mouse em **Campo elétrico com descrição de potenciais**, e clique uma vez em **abrir**. Rode a simulação clicando na seta vermelha da janela **controle**. Descreva ou desenhe o observado na simulação.



31 - **Comparação:** No que a sua previsão difere do observado?

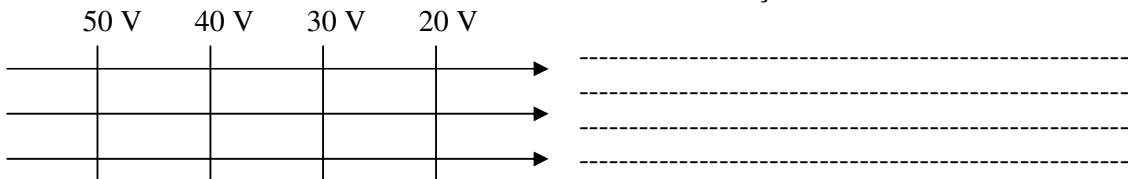
.....

.....

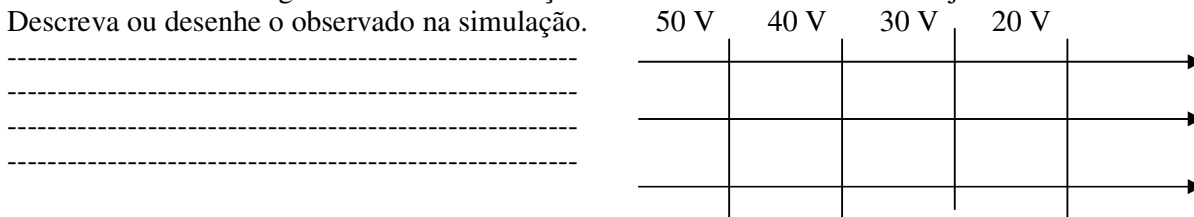
.....

MOVIMENTO DE CARGA NEGATIVA.

32 - **Previsão:** Como você acha que será o movimento de uma carga negativa quando colocada em uma região de um campo elétrico uniforme com as descrições de potenciais como mostrado abaixo? Desenhe a direção e o sentido do seu movimento e descreva este movimento. Será com velocidade constante? Será com aceleração constante?



33 - **Verificação:** Na janela **condições iniciais**, na tabela **parâmetros**, altere o sinal de q , colocando um sinal negativo. Rode a simulação clicando na seta vermelha da janela **controle**. Descreva ou desenhe o observado na simulação.



34 - **Comparação:** No que a sua previsão difere do observado?

.....

.....

.....

APÊNDICE 3

TABELAS E FIGURAS

Tabela 8.

Laudo da análise qualitativa de alguns estudantes.

| Conceito | Idéia | Número de estudantes do grupo experimental que evoluiu a idéia. | % | Número de estudantes do grupo de controle que evoluiu a idéia. | % |
|--------------------|--|---|----------|--|----------|
| Força elétrica | Princípio da atração e repulsão. | 5 | (31,25%) | 1 | (9,09%) |
| | Intensidade da força em função do módulo das cargas. | 8 | (50,00%) | 6 | (54,54%) |
| | Intensidade da força em função da distância. | 2 | (12,50%) | 0 | (0%) |
| | Princípio da ação e reação | 2 | (12,50%) | 3 | (27,27%) |
| Campo elétrico | Direção e sentido da força no conceito de campo elétrico. | 6 | (37,50%) | 1 | (9,09%) |
| | Intensidade da força em campo elétrico uniforme. | 7 | (43,75%) | 1 | (9,09%) |
| | Força elétrica e superposição de campo. | 7 | (43,75%) | 3 | (27,27%) |
| | Movimento de cargas sujeitas a um campo elétrico uniforme. | 5 | (31,25%) | 3 | (27,27%) |
| Potencial elétrico | Direção e sentido das linhas de força em campo elétrico com descrição de potenciais. | 3 | (18,75%) | 0 | (0%) |
| | Intensidade de campo elétrico com descrição de potenciais em diferentes pontos. | 2 | (12,50%) | 0 | (0%) |

| | | | | | |
|--|--|---|----------|---|------|
| | Movimento de cargas devido à diferença de potencial. | 4 | (25,00%) | 0 | (0%) |
| | Intensidade da força elétrica em campo elétrico com descrição de potenciais. | 2 | (12,50%) | 0 | (0%) |

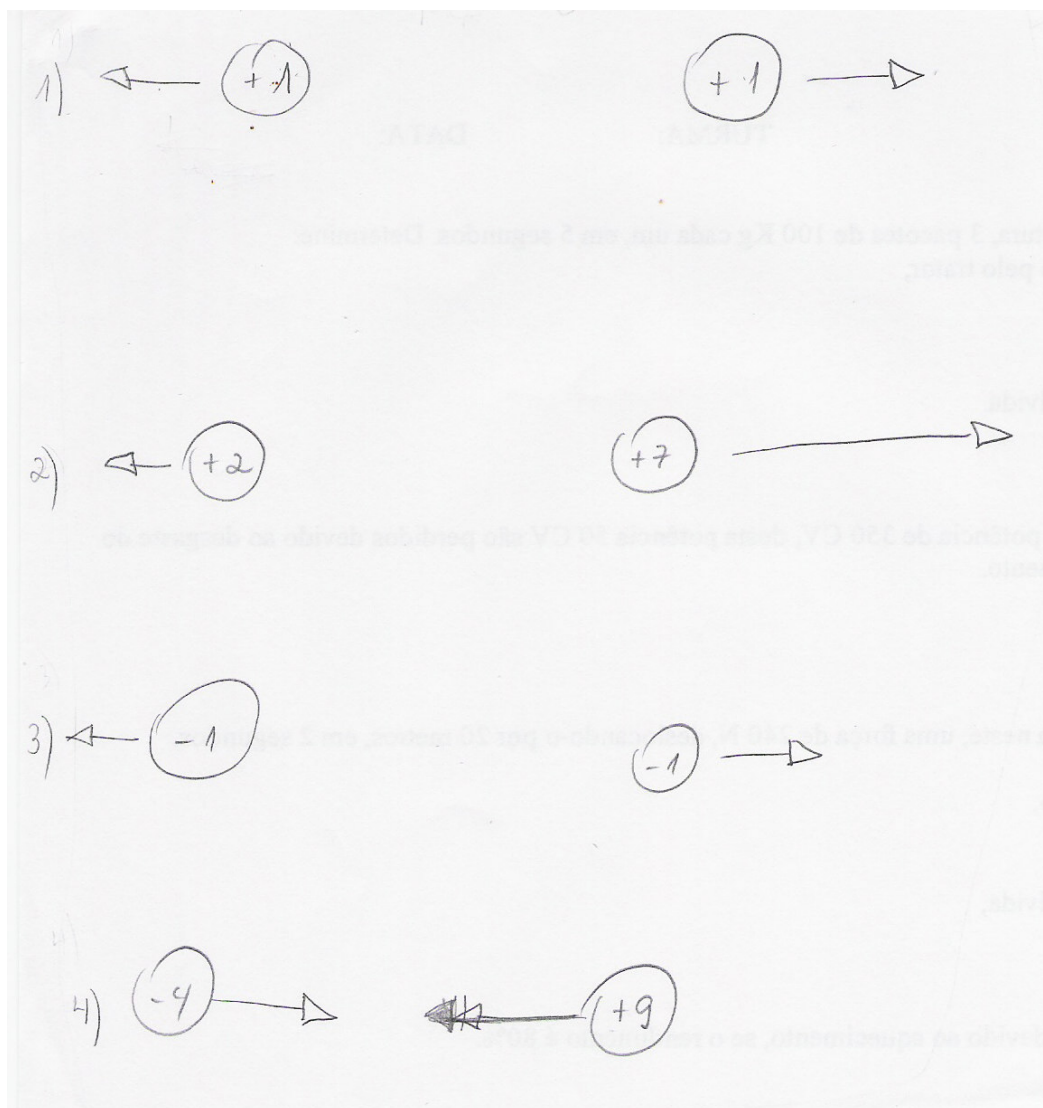


Figura L1 - Representação da força elétrica do estudante L1.

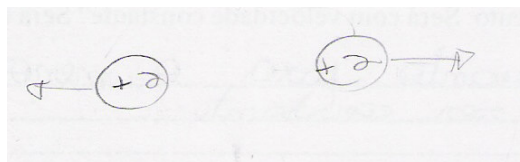


Figura D2 - Representação da força elétrica entre duas cargas de mesmo módulo e sinal, do estudante D1.

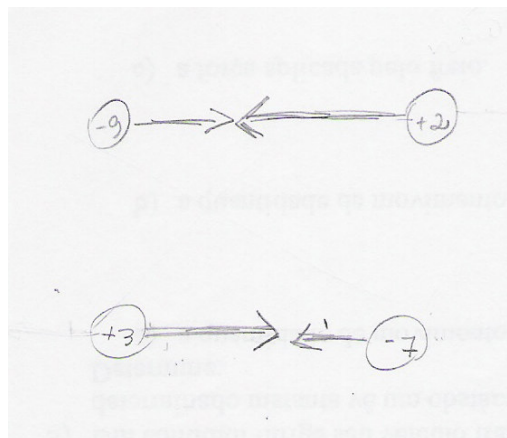


Figura J1 - Representação da força elétrica do estudante J1.

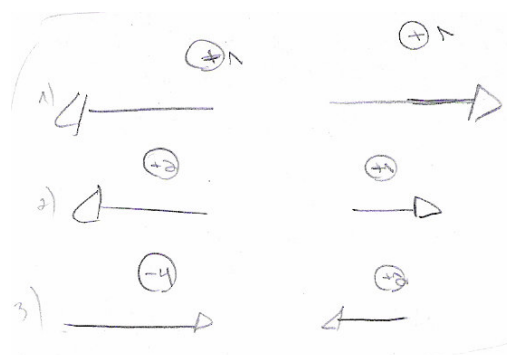


Figura B1 - Representação da força elétrica do estudante B1.

Tabela 9.

Princípio da atração e repulsão no conceito de força elétrica - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|---|
| T3 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de atração e repulsão. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| A2 | Não evoluiu. O estudante já admitia o princípio da atração e repulsão. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. Na entrevista quando solicitado representar a força elétrica entre cargas, representou-as de |

| | | |
|----|---|---|
| | | modo a evidenciar este princípio (figura A1). |
| F2 | Não evoluiu. O estudante já admitia o princípio da atração e repulsão. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da atração e repulsão. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na entrevista quando solicitado representar a força elétrica entre as cargas, representou-as evidenciando a não aplicação deste princípio, conforme figura T1. |
| T5 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da atração e repulsão. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante já aplicava o princípio da atração e repulsão. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante já aplicava o princípio da atração e repulsão. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da atração e repulsão. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| D4 | Não evoluiu. O estudante já aplicava o princípio da atração e repulsão. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| T6 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da atração e repulsão. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da atração e repulsão. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa e. |

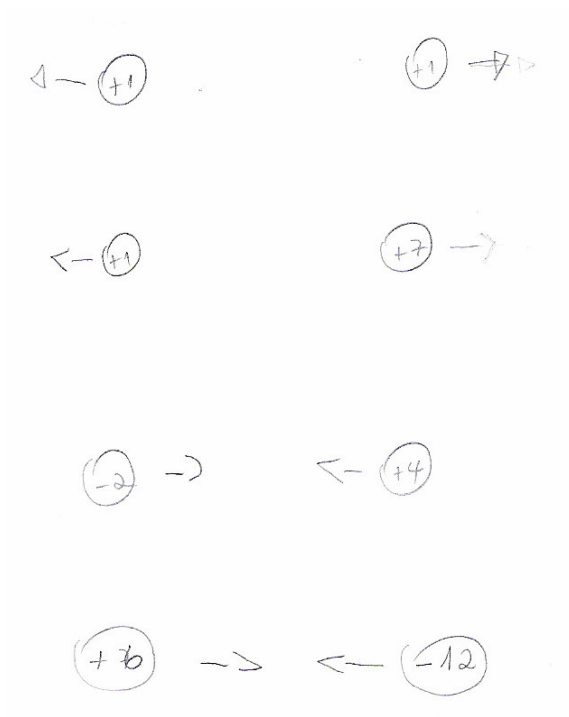


Figura 16 - Representação da força elétrica do estudante A2.

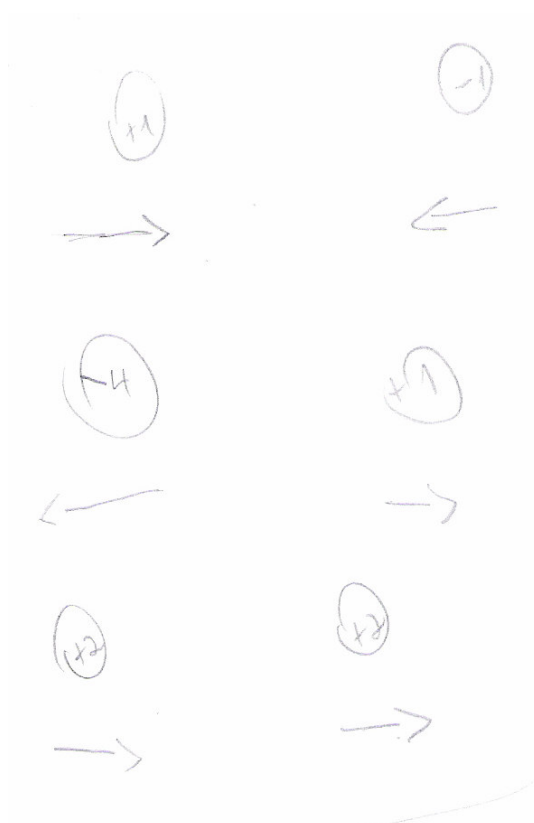


Figura T1 - Representação da força elétrica do estudante T4.

Tabela 10.

Intensidade da força em função do módulo das cargas no conceito de força elétrica - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|---|
| C1 | Não evoluiu. O estudante já concebia a idéia de proporcionalidade da força em função do módulo das cargas. | Na questão 1, tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 2, tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| T1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de força proporcional ao módulo das cargas. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na entrevista quando questionado sobre a alternativa escolhida no pós-teste, respondeu: “Porque colocaram o 4 e a força ficou 4F.” Quando perguntado sobre o que aconteceria com a força se aumentássemos o valor de uma carga, respondeu: “Eu acho que aumenta”. |
| L1 | Não evoluiu. O estudante já concebia força como proporcional ao módulo das cargas. | Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| D1 | Evoluiu. O estudante passou a admitir que aumentando o valor de uma das cargas, a força aumenta. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista foi questionado em qual situação a força elétrica seria maior (figura D4), respondeu: “Ahh, nesta aqui!”(caso 2) |
| J1 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece pensar que a força se distribui em função do módulo das cargas. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| C2 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece pensar que a força se distribui em função do módulo das cargas, no entanto sabe que a força aumenta na mesma proporção que o módulo das cargas. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| C3 | Não evoluiu. O estudante parece pensar que a força é propriedade da carga e não interação. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste |

| | | |
|----|--|--|
| | | assinalou alternativa ^a Na entrevista quando questionado sobre sua resposta na questão 1 do pós-teste, respondeu: “Não sei. De repente multipliquei por um número, ou tentei fazer alguma regra”. |
| B1 | Não evoluiu . O estudante parece pensar que a força é propriedade da carga e não interação, no entanto admite “aumentar força quando aumenta carga”. | Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| D2 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece pensar que a força é propriedade da carga e não interação, no entanto admite “aumentar força quando aumenta carga”. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| A1 | Não evoluiu. O estudante parece pensar que a força é propriedade da carga e não interação. | Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| V1 | Evoluiu parcialmente. O estudante concebe força como dependente do módulo das cargas, no entanto concebe força como propriedade da carga e não como interação. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| F1 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece pensar em “distribuição” de força portanto concebe força como propriedade da carga. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| R1 | Não evoluiu. O estudante parece pensar em “distribuição” de força, portanto concebe força como propriedade da carga. | Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| R2 | Não evoluiu. O estudante parece pensar que força é propriedade da carga e não interação. | Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| T2 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece conceber força como propriedade da carga ao invés de interação. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa ^a |
| S1 | Não evoluiu. O estudante parece conceber força como propriedade da carga ao invés de interação. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |

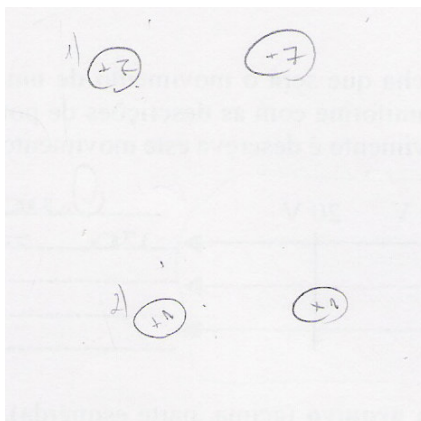


Figura D4 - Representação de cargas elétricas, apresentada ao estudante D1 durante a entrevista.

Tabela 11.

Intensidade da força em função do módulo das cargas no conceito de força elétrica - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|---|
| T3 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece pensar que a força é propriedade da carga e não como interação. | Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| A2 | Evoluiu . O estudante evoluiu a idéia de intensidade da força em função do módulo das cargas. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| F2 | Não evoluiu . O estudante parece pensar que a força é propriedade da carga e não interação, no entanto admite “aumentar força quando aumenta carga”. | Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista quando questionado sobre forças diferentes, respondeu: “Eu pensei que a carga fosse igual a força. Aumentou a carga, aumentou a força”. |
| T4 | Não evoluiu . O estudante já concebia força como proporcional ao módulo das cargas. | Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| T5 | Evoluiu. O estudante concebe força como dependente do módulo das cargas. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| G1 | Evoluiu parcialmente. O estudante concebe força como dependente do | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou |

| | | |
|----|--|---|
| | módulo das cargas, no entanto concebe força como propriedade da carga e não como interação. | alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante sabe que aumentando o módulo das cargas a força aumenta, no entanto parece pensar em “distribuição” de força, portanto concebe força como propriedade da carga. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante parece pensar em “distribuição” de força, portanto concebe força como propriedade da carga. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| D4 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de intensidade de força em função do módulo das cargas. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| T6 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece pensar que força é propriedade da carga e não interação. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante já admitia a proporcionalidade da força em função do módulo das cargas. | Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |

Tabela 12.

Intensidade da força em função da distância no conceito de força elétrica - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|--|
| C1 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na entrevista foi questionado sobre o que aconteceria com a força quando aumentássemos a distância entre as cargas, e respondeu: “A força diminui, né?” |
| T1 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. Na entrevista foi questionado se a distância influencia no valor da força e respondeu: “Acho que sim, quanto mais distante, menos força, quanto mais perto, maior a força”. |

| | | |
|----|--|--|
| L1 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| D1 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa e. Na entrevista foi questionado sobre o que aconteceria com a força se a distância se tornasse maior, respondeu: “A força diminui. E tinha uns que a força aumentava e a distância diminuía, isso tudo era dos valores que a gente colocava”. |
| J1 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| C2 | Evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto após as atividades de simulação já concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista quando questionado sobre o que aconteceria com a força se aumentássemos a distância entre as cargas, respondeu: “Eu acho que a força ia aumentar. “Peraí, não, se aumentar..., eu acho que ia diminuir”. |
| C3 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| B1 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa e. Na entrevista quando questionado sobre o que aconteceria com a força se aumentássemos a distância, respondeu: “Diminui eu acho”. |
| D2 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| A1 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| V1 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| F1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em função da distância. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| R1 | Não evoluiu. O estudante não | Na questão 3 do pré-teste assinalou |

| | | |
|----|--|--|
| | determina força em função da distância. | alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| R2 | Não evoluiu. O estudante não determina força em função da distância, no entanto sabe que a força diminui quando a distância aumenta. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| T2 | Evoluiu. O estudante determina corretamente força em função da distância. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| S1 | Não evoluiu. O estudante não determina corretamente força em função da distância. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. |

Tabela 13.

Intensidade da força em função da distância no conceito de força elétrica - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|---|
| T3 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| A2 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na entrevista quando questionado se a distância influencia no valor da força, respondeu: “Eu acho que ia continuar igual”. |
| F2 | Não evoluiu. O estudante parece não saber que a força diminui quando a distância aumenta. | Na questão 3 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na entrevista quando questionado sobre o que aconteceria com a força se aumentássemos a distância entre as cargas, respondeu: “Diminui a força”. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na entrevista quando questionado se a distância influencia no valor da força, respondeu: “Não”. |
| T5 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante já admitia que aumentando a distância a força diminui, no entanto não concebe a razão desta proporcionalidade. | Na questão 3 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante admite que | Na questão 3 tanto do pré-teste como do |

| | | |
|----|--|--|
| | a força diminui quando a distância aumenta e determina corretamente o seu valor. | pós-teste assinalou alternativa c. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante admite que a força diminui quando a distância aumenta, mas não determina sua proporcionalidade. | Na questão 3 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| D4 | Não evoluiu. O estudante não determina força em função da distância, no entanto sabe que a força diminui quando a distância aumenta. | Na questão 3 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| T6 | Não evoluiu. O estudante não determina força em função da distância, no entanto sabe que a força diminui quando a distância aumenta. | Na questão 3 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante não determina força em função da distância. | Na questão 3 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |

Tabela 14.

Princípio da ação e reação no conceito de força elétrica - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|--|
| C1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de que se tratando de cargas elétricas podemos aplicar este princípio da mecânica, e concebe força como algo específico de cada carga e não como interação. | Na questão 1, tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 2, tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. E na questão 5, tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. Na entrevista, quando questionada sobre a intensidade da força nas questões 1 e 2, respondeu: “Porque na segunda carga foi posto quatro, aqui falava intensidade da força na carga de +Q era F, porque uma era Q e a outra ficou 4Q”. De forma semelhante quando questionada sobre a representação da força com vetores de tamanhos diferentes na questão 5, respondeu: “Porque eu acho que -2 seria maior do que o +1, agora, +1 com -1, as duas flechas seriam do mesmo tamanho. Mas como é -2 eu acho que, se fosse olhar na tabela do x e do y, o -2 teria mais avanço do que o +1, entendeu?” |
| T1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de que se tratando de cargas elétricas podemos aplicar este princípio da mecânica, e concebe força como interação. | Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. E na questão 5 do pré-teste |

| | | |
|----|---|---|
| | | assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| L1 | Não evoluiu. O estudante admite o princípio da ação e reação quando a força é representada numericamente, mas parece não admitir este princípio quando a força é representada por vetores | Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. E na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista quando solicitado a representar com vetores a força entre duas cargas de valores diferentes, representou-as com vetores de tamanhos diferentes (figura L1). |
| D1 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação para cargas elétricas. | Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. E na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista o estudante foi solicitado a representar vetorialmente a força elétrica entre uma carga de +1 e uma carga de -1, representou-as com vetores de tamanhos diferentes, conforme figura D3. |
| J1 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação para cargas elétricas. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista foi solicitado representar vetorialmente a força elétrica entre cargas (figura J1), e representou de modo que evidenciou a não aplicação deste princípio. |
| C2 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação para cargas elétricas. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| C3 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação para cargas elétricas. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista quando questionado sobre vetores de tamanhos diferentes, respondeu: “Acho que tem a ver com o valor da carga”. |
| B1 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa a. Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| D2 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| A1 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na |

| | | |
|----|---|--|
| | | questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| V1 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| F1 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa ^a Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| R1 | Evoluiu parcialmente. O estudante aplica o princípio da ação e reação quando a força é representada vetorialmente, no entanto não aplica quando a representação é numérica. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| R2 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| T2 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa a. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| S1 | Não evoluiu. O estudante já aplicava o princípio da ação e reação. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |

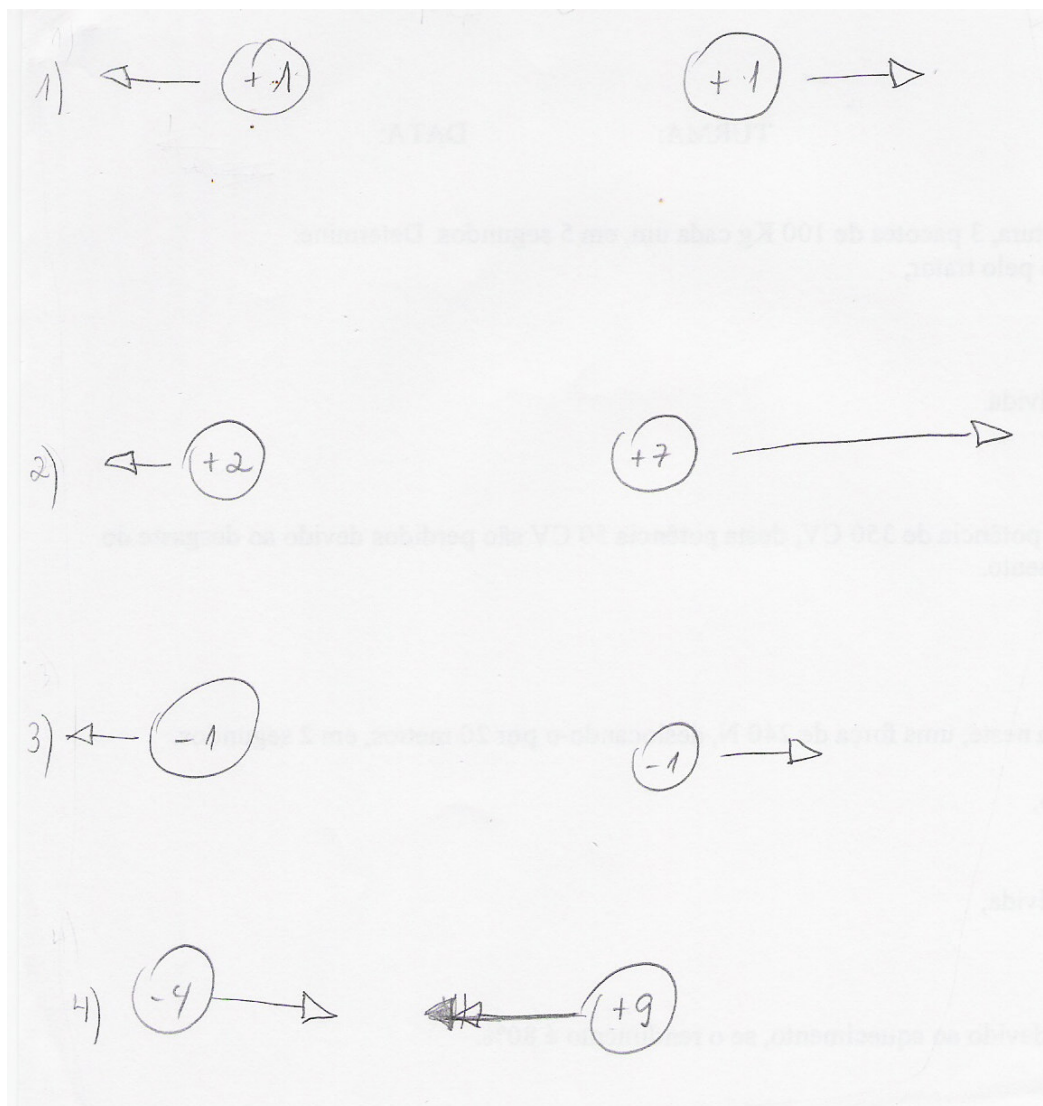


Figura L1- Representação da força elétrica do estudante L1.

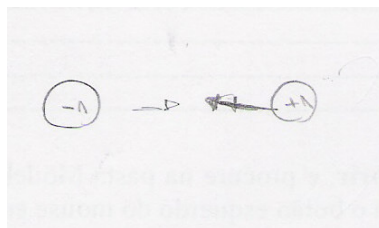


Figura D3 - Representação do princípio da ação e reação do estudante D1.

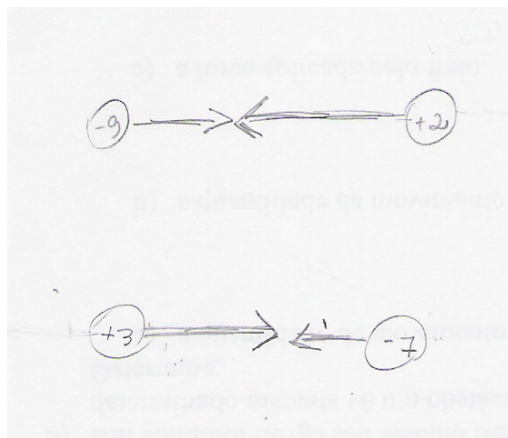


Figura J1 - Representação da força elétrica do estudante J1.

Tabela 15.

Princípio da ação e reação no conceito de força elétrica - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|---|
| T3 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação para cargas elétricas. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista quando solicitado representar a força elétrica entre cargas, desenhou vetores de tamanhos diferentes (figura T1) |
| A2 | Evoluiu parcialmente. O estudante aplica numericamente o princípio da ação e reação, no entanto quando a representação é vetorial não aplica este princípio. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na entrevista quando da representação da força elétrica entre cargas, representou-as com vetores de mesmo tamanho (figura A1). |
| F2 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista quando questionado sobre vetores de tamanhos diferentes, respondeu: “Pelo valor só. Só pelo valor”. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante aplica | Na questão 5 tanto do pré-teste como do |

| | | |
|----|---|---|
| | numericamente o princípio da ação e reação, no entanto quando a representação é vetorial não aplica este princípio. | pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na entrevista representou a força elétrica entre cargas com vetores de tamanhos diferentes, ver figura T1. |
| T5 | Evoluiu parcialmente. O estudante aplica o princípio da ação e reação quando a força é representada numericamente, mas não aplica este princípio quando a representação é vetorial. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| D4 | Evoluiu parcialmente. O estudante não aplica o princípio da ação e reação quando a força é representada vetorialmente, no entanto aplica quando a representação é numérica. | Na questão 5 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| T6 | Não evoluiu. O estudante não aplica o princípio da ação e reação. | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 1 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante aplica o princípio da ação e reação quando a força é representada numericamente, no entanto não aplica quando a | Na questão 5 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa e. Na questão 1 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou |

| | | |
|--|---------------------------|---|
| | representação é vetorial. | alternativa b. Na questão 2 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
|--|---------------------------|---|

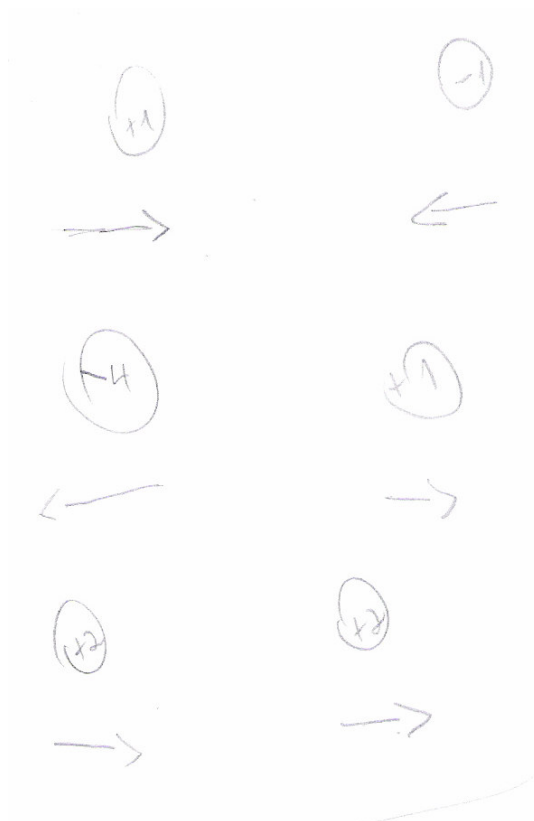


Figura T1 - Representação da força elétrica do estudante T4.

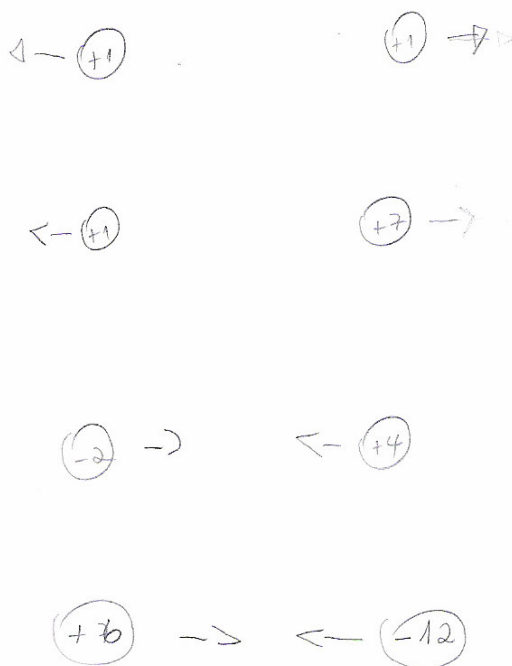


Figura A1 - Representação da força elétrica do estudante A2.

Tabela 16.

Direção e sentido da força no conceito de campo elétrico - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|---|
| C1 | Evoluiu. O estudante modificou sua idéia de força zero em uma carga sujeita a um campo elétrico não uniforme, para uma idéia correta de direção da força. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| T1 | Evoluiu. O estudante modificou sua idéia de direção da força em uma carga sujeita a um campo elétrico não uniforme, uma vez que passou a entender que seria uma carga positiva a geradora deste campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa a. Na entrevista quando solicitado a justificar sua resposta, respondeu: “Porque eu acho que ela iria vir pra cá (no sentido direita para a esquerda).” E quando perguntado sobre o sinal da carga geradora do campo, respondeu: “Positiva”. |
| L1 | Evoluiu. O estudante modificou sua idéia de direção da força em uma | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou |

| | | |
|----|--|---|
| | carga sujeita a um campo elétrico não uniforme, representando corretamente sua direção. | alternativa a. |
| D1 | Evoluiu. O estudante modificou sua idéia de direção da força em uma carga sujeita a um campo elétrico não uniforme, representando corretamente sua direção. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| J1 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga geradora do campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| C2 | Não evoluiu. O estudante permanece com a idéia de força zero. | Na questão 10 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| C3 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece determinar o sinal da carga que origina o campo, no entanto considera somente duas cargas interagindo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| B1 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| D2 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece que passou a determinar o sinal da carga que origina o campo, no entanto admite somente a interação de duas cargas. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| A1 | Não evoluiu . O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| V1 | Não evoluiu . O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| F1 | Não evoluiu . O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| R1 | Não evoluiu . O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| R2 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| T2 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| S1 | Não evoluiu. O estudante já determinava corretamente direção e sentido das linhas de força. | Na questão 10 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |

Tabela 17.

Direção e sentido da força no conceito de campo elétrico - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|--|
| T3 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| A2 | Não evoluiu. O estudante parece determinar o sinal da carga que origina o campo, no entanto considera somente duas cargas interagindo. | Na questão 10 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na entrevista quando solicitado desenhar um campo elétrico gerado por carga positiva e um campo elétrico gerado por carga negativa, representou as linhas de força corretamente (figura A2). |
| F2 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| T5 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| D4 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| T6 | Não evoluiu. O estudante parece determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante parece não determinar o sinal da carga que origina o campo. | Na questão 10 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa e. |

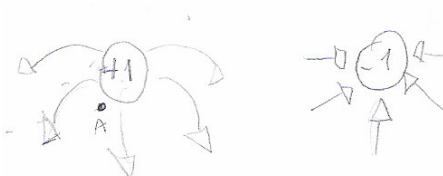


Figura A2 - Representação de campo elétrico do estudante A2.

Tabela 18.

Intensidade da força em campo elétrico uniforme no conceito de campo elétrico - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|--|
| C1 | Evoluiu. O estudante passou a compreender que num campo elétrico uniforme a força elétrica é a mesma para uma mesma carga em diferentes posições. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| T1 | Evoluiu. O estudante passou a compreender que num campo elétrico uniforme a força elétrica é a mesma para uma mesma carga em diferentes posições. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| L1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| D1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| J1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| C2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| C3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| B1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| D2 | Não evoluiu. O estudante já concebia a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| A1 | Não evoluiu. O estudante não concebe a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| V1 | Evoluiu. O estudante concebe a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| F1 | Não evoluiu. O estudante não concebe a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| R1 | Não evoluiu. O estudante não concebe a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |

| | | |
|----|---|--|
| R2 | Evoluiu. O estudante passou a conceber a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| T2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| S1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |

Tabela 19.

Intensidade da força em campo elétrico uniforme no conceito de campo elétrico - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|--|
| T3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| A2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| F2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| T5 | Evoluiu. O estudante concebe a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante não concebe a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante não concebe a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante não concebe a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| D4 | Não evoluiu. O estudante não concebe a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| T6 | Não evoluiu. O estudante já concebia a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de força em campo elétrico uniforme. | Na questão 9 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |

Tabela 20.

Força elétrica e superposição de campo no conceito de campo elétrico - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|---|
| C1 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece não compreender a representação espacial de um sistema de cargas elétricas, como o da questão 6, confundindo as coordenadas do ponto com intensidade da força no ponto, no entanto admite mudança na força em casos como a questão 7, onde não é especificado a localização do ponto. | Na questão 4, tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. E na questão 6 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. Na entrevista, quando questionada sobre a resposta da questão 6, respondeu: “Acho Que não ia mudar nada aqui na intensidade, porque era (b,0), não tinha nenhuma força, era zero, então significa que ficaria ali na mesma reta do x. Agora, se tivesse algum número, doze ou alguma coisa assim, eu acho que teria da?”. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| T1 | Evoluiu. O estudante parece não operar com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas, no entanto, passou a admitir a mudança na intensidade da força em casos específicos como questão 6 e 7. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| L1 | Evoluiu parcialmente. O estudante parece não operar com vetores representativos da força elétrica para sistemas de mais de duas cargas, no entanto admite mudança na força em casos específicos como a questão 7. | Na questão 4 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na entrevista foi solicitado a relacionar força elétrica e campo elétrico, respondeu: “Sempre no exercício fala que uma força atua num campo elétrico, dá pra ter uma idéia que a força tá no campo elétrico, sem campo elétrico não dá pra ter força”. |
| D1 | Evoluiu. O estudante passou a operar com vetores representativos da força elétrica para sistemas de três cargas, no entanto não resolve questões com mais de três cargas. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa e. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 7 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| J1 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para sistemas de mais de | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 do pré-teste |

| | | |
|----|--|---|
| | duas cargas. | assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| C2 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas, no entanto, admite a mudança na intensidade da força em casos específicos como questão 6. | Na questão 4 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 6 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 7 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| C3 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. No item 26- previsão do guia de simulação havia três cargas e perguntava como ficariam os vetores resultantes da interação entre elas, respondeu: “Os vetores positivos irão atrair o negativo e equilibrará as cargas”. Quando questionado sobre “equilibrar cargas”, respondeu: “Ele vai ficar distribuído nas duas positivas, vai passar carga uma para outra”. Na questão 7 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| B1 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 6 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| D2 | Evoluiu parcialmente. O estudante não opera com vetores em sistemas de mais de duas cargas, no entanto admite uma mudança na força em casos específicos como o da questão 7. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| A1 | Evoluiu parcialmente. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas, no entanto admite mudança na força em casos específicos como as questões 6 e 7. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 6 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| V1 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas. | Na questão 4 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. Na questão 7 |

| | | |
|----|--|--|
| | | tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| F1 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas, no entanto admite mudança na força em casos específicos como da questão 6. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| R1 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| R2 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa a. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| T2 | Evoluiu parcialmente. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas, no entanto admite alguma mudança na força em casos específicos como a questão 6. | Na questão 4 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 7 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| S1 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para sistemas de mais de duas cargas. | Na questão 4 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 7 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |

Tabela 21.

Força elétrica e superposição de campo no conceito de campo elétrico - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|---|
| T3 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas, no entanto, admite a mudança na intensidade da força em | Na questão 4 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 6 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa d, e no |

| | | |
|----|--|---|
| | casos específicos como questão 6. | pós-teste assinalou alternativa b. |
| A2 | Evoluiu parcialmente. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas, no entanto admite uma mudança na força em casos específicos como na questão 7. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na entrevista quando solicitado relacionar campo e força, disse: “Eu acho que as duas tão juntas, porque eu acho que força elétrica é a força que tem no campo elétrico. Porque um é a quantia e a outra é o campo”. |
| F2 | Evoluiu parcialmente. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas, no entanto, admite mudança na força em casos específicos como da questão 6. | Na questão 4 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas. | Na questão 4 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 6 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 7 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| T5 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas, no entanto admite mudança na força em casos específicos como nas questões 6 e 7. | Na questão 4 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores em sistemas de mais de duas cargas, no entanto admite mudança na força em casos específicos como a questão 7. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 6 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| D3 | Evoluiu parcialmente. O estudante não opera com vetores em sistemas de mais de duas cargas, no entanto admite mudança na força em casos | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste |

| | | |
|----|--|--|
| | específicos como o da questão 7. | assinalou alternativa c. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| D4 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores em sistemas de mais de duas cargas, no entanto admite mudança na força em casos específicos como da questão 7. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa a. Na questão 7 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| T6 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas, no entanto admite mudança na força em casos específicos como a questão 6. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 6 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. Na questão 7 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante não opera com vetores representativos da força elétrica para um sistema de mais de duas cargas. | Na questão 4 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. Na questão 6 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa e. Na questão 7 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |

Tabela 22.

Movimento de cargas sujeitas a um campo elétrico uniforme no conceito de campo elétrico - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|---|
| C1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de campo elétrico responsável pelo movimento de cargas, podendo indicar o tipo de movimento. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| T1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de campo elétrico responsável pelo movimento de cargas. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. Na entrevista quando solicitado a justificar sua resposta, respondeu: “ Porque no início da pergunta eu vi que ela estava em repouso no centro de uma região e daí eu acho que ela ia ficar em repouso”. |
| L1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de campo elétrico responsável pelo movimento de cargas. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| D1 | Não evoluiu. O estudante não | Na questão 8 tanto do pré-teste como do |

| | | |
|----|---|--|
| | evoluiu a idéia de campo elétrico responsável pelo movimento de cargas, logo, não determina o tipo de movimento. | pós-teste assinalou alternativa b. Na entrevista foi questionado sobre o movimento de uma carga positiva quando solta num campo elétrico uniforme conforme figura D1, respondeu: “Olha professora, eu na minha opinião seria velocidade constante, sabe, se é uma aceleração, como é aceleração, pode aumentar e pode diminuir, porque é acelerado uma coisa, agora, velocidade não, velocidade constante já é outra coisa, por exemplo, nem pra menos, nem pra mais”. |
| J1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de campo elétrico responsável pelo movimento de cargas determinando o tipo de movimento. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista o estudante devia representar a direção e o sentido do movimento de uma carga positiva e uma carga negativa quando soltas num campo elétrico uniforme, e representou-os corretamente (figura J2). |
| C2 | Não evoluiu. O estudante já determinava corretamente o tipo de movimento de uma carga solta num campo elétrico uniforme. | Na questão 8 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| C3 | Não evoluiu. O estudante modificou uma idéia de repouso para uma idéia de rapidez constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa a. Na entrevista quando questionado sobre o que seria rapidez constante, respondeu: “Velocidade mais elevada”. |
| B1 | Não evoluiu. O estudante modificou uma idéia de repouso para uma idéia de velocidade constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| D2 | Evoluiu. O estudante modificou uma idéia de velocidade constante para uma idéia de aceleração constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| A1 | Não evoluiu. O estudante modificou uma idéia de aceleração variável para uma idéia de rapidez constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| V1 | Evoluiu. O estudante modificou uma idéia de repouso para uma idéia de aceleração constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| F1 | Não evoluiu. O estudante modificou uma idéia de velocidade constante para uma idéia de rapidez constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| R1 | Não evoluiu. O estudante modificou a idéia de aceleração variável para uma idéia de rapidez constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| R2 | Não evoluiu. O estudante modificou a idéia de velocidade constante para | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou |

| | | |
|----|---|--|
| | uma idéia de repouso. | alternativa e. |
| T2 | Não evoluiu. O estudante permanece com a idéia de repouso. | Na questão 8 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| S1 | Evoluiu. O estudante modificou uma idéia de repouso para uma idéia de aceleração constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |

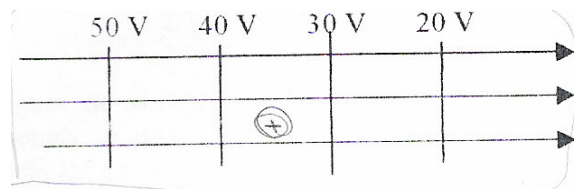


Figura D1 - Representação de campo elétrico apresentado ao estudante D1 durante a entrevista.

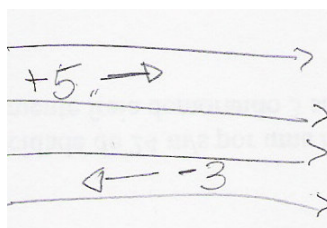


Figura J2 - Representação do movimento de cargas do estudante J1.

Tabela 23.

Movimento de cargas sujeitas a um campo elétrico uniforme no conceito de campo elétrico - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|--|
| T3 | Não evoluiu. O estudante permanece com a idéia de repouso quando uma carga é solta num campo elétrico uniforme. | Na questão 8 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| A2 | Não evoluiu. O estudante modificou uma idéia de aceleração variável para uma idéia de repouso. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| F2 | Não evoluiu. O estudante modificou uma idéia de velocidade constante para uma idéia de repouso. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante modificou uma idéia de velocidade constante para uma idéia de repouso. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. |

| | | |
|----|--|--|
| T5 | Não evoluiu. O estudante modificou uma idéia de velocidade constante para uma idéia de repouso. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante modificou uma idéia de repouso para uma idéia de velocidade constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante permanece com a idéia de velocidade constante. | Na questão 8 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante modificou a idéia de velocidade constante para uma idéia de repouso. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| D4 | Evoluiu. O estudante modificou a idéia de velocidade constante para uma idéia de aceleração constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| T6 | Evoluiu. O estudante modificou a idéia de rapidez constante para uma idéia de aceleração constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| C4 | Evoluiu. O estudante modificou a idéia de repouso para uma idéia de aceleração constante. | Na questão 8 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |

Tabela 24.

Direção e sentido das linhas de força em campo elétrico com descrição de potenciais no conceito de potencial elétrico - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|---|
| C1 | Não evoluiu. O estudante parece não identificar a direção e o sentido das linhas de força de um campo com descrição de potenciais, visto que quando indicadas as linhas de força, este estudante identifica corretamente o comportamento de cargas (entrevista fig. C1). | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| T1 | Evoluiu. O estudante parece identificar a direção e o sentido das linhas de força de um campo elétrico com descrição de potenciais. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| L1 | Não evoluiu. O estudante parece não identificar a direção e o sentido das linhas de força de um campo elétrico com descrição de potenciais. | Na questão 13 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| D1 | Não evoluiu. O estudante parece não relacionar a direção e o sentido das linhas de força de um campo elétrico com descrição de potenciais com direção de força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |

| | | |
|----|---|---|
| J1 | Não evoluiu. O estudante parece não identificar a direção e o sentido das linhas de força de um campo elétrico com descrição de potenciais. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| C2 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| C3 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| B1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| D2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| A1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| V1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| F1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| R1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| R2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| T2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| S1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |

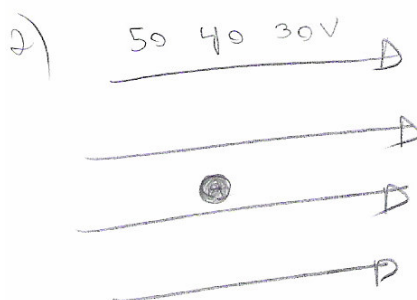


Figura C1 - Representação de campo elétrico apresentado ao estudante C1.

Tabela 25.

Direção e sentido das linhas de força em campo elétrico com descrição de potenciais no conceito de potencial elétrico - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|--|---|
| T3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| A2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| F2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| T5 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| D4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| T6 | Não evoluiu. O estudante não | Na questão 13 tanto do pré-teste como do |

| | | |
|----|--|---|
| | evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | pós-teste assinalou alternativa c. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de direção da força elétrica. | Na questão 13 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. |

Tabela 26.

Intensidade de campo elétrico com descrição de potenciais em diferentes pontos no conceito de potencial elétrico - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|---|
| C1 | Não evoluiu. O estudante permanece com a idéia de que o campo elétrico é mais intenso onde as linhas de força estão mais separadas. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. Durante a entrevista foi solicitado uma justificativa para a resposta da questão 12, e respondeu: “Por causa do intervalo entre uma coluna e outra.” Perguntado se o campo é mais intenso onde as linhas estão mais separadas, respondeu: “É, isso que eu entendi na hora de resolver”. |
| T1 | Não evoluiu. O estudante permanece com a idéia de que o campo elétrico é mais intenso onde as linhas de força estão mais separadas. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| L1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| D1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| J1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| C2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| C3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. Na entrevista quando solicitado a justificar sua resposta, respondeu: “Pensei nas linhas. O tamanho dos espacinhos, no 3 é mais afastado”. |
| B1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| D2 | Não evoluiu. O estudante não | Na questão 12 do pré-teste assinalou |

| | | |
|----|---|---|
| | evoluiu a idéia de intensidade do campo. | alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| A1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| V1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| F1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| R1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| R2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| T2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| S1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |

Tabela 27.

Intensidade de campo elétrico com descrição de potenciais em diferentes pontos no conceito de potencial elétrico - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|---|
| T3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| A2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| F2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| T5 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |

| | | |
|----|---|---|
| M1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| D4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa e. |
| T6 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade do campo. | Na questão 12 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa a. |

Tabela 28.

Movimento de cargas devido à diferença de potencial no conceito de potencial elétrico - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|---|
| C1 | Evoluiu. O estudante passou a compreender a direção e o sentido do movimento de cargas num campo elétrico com descrição de potenciais. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa e. Durante a entrevista lhe foi apresentado um campo elétrico com descrição de potenciais (figura C1) e perguntado sobre o movimento de uma carga positiva solta neste campo, respondeu: “Acho que iria pro menor (direita)”. E perguntado sobre como seria o movimento, respondeu: “Velocidade constante”. |
| T1 | Evoluiu. O estudante passou a compreender a direção e o sentido do movimento de cargas num campo elétrico com descrição de potenciais. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| L1 | Não evoluiu. O estudante utiliza somente um tipo de representação para campo elétrico, constituído de linhas de força que vão da esquerda para a direita. | Na questão 11 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. Na entrevista quando solicitado a desenhar um campo elétrico gerado por carga positiva utilizou uma representação conforme figura L2. |
| D1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| J1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de movimento de cargas | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou |

| | | |
|----|--|---|
| | devido à diferença de potencial. | alternativa d. Apesar da resposta do pós-teste não estar correta, na entrevista foi apresentado ao estudante um desenho de um campo elétrico com descrição de potenciais com as devidas linhas de força representadas, neste caso o estudante descreveu corretamente a direção e o sentido do movimento das cargas ali colocadas (figura J3). |
| C2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| C3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| B1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| D2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| A1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| V1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| F1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| R1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| R2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| T2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| S1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa d. |

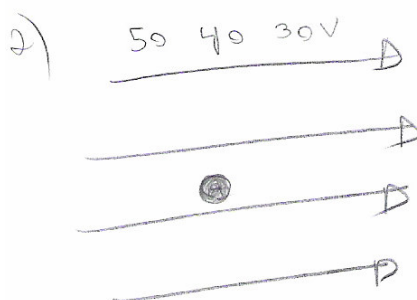


Figura C1 - Representação de campo elétrico apresentado ao estudante C1.

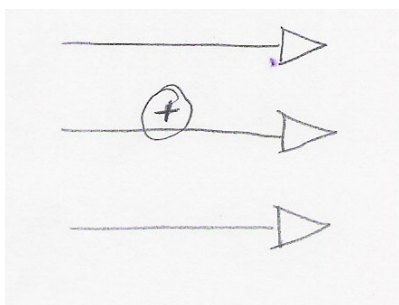


Figura L2 - Representação de campo elétrico gerado por carga positiva do estudante L1.

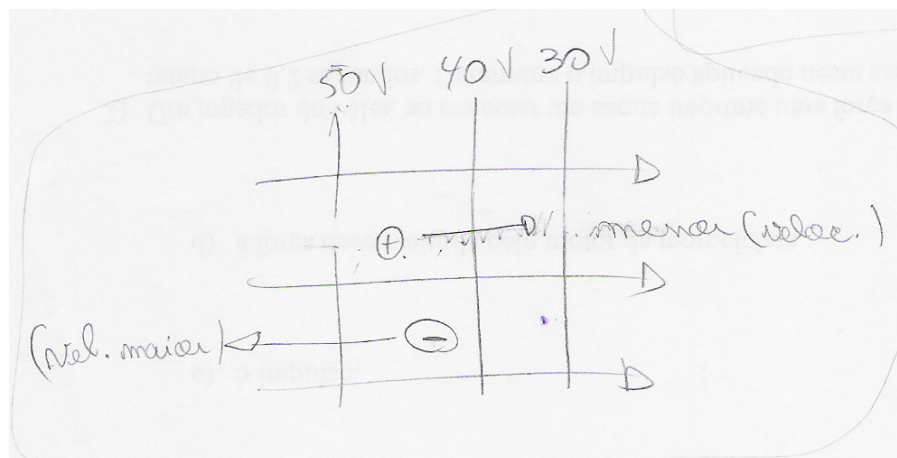


Figura J3 - Representação de um campo elétrico apresentado ao estudante J1.

Tabela 29.

Movimento de cargas devido à diferença de potencial no conceito de potencial elétrico - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|---|
| T3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| A2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas, parece pensar em um só padrão de representação de campo. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. Na entrevista quando solicitado representar um campo elétrico uniforme, representou com as linhas de força da esquerda para a direita conforme figura A3. |
| F2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| T5 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa b. |
| D4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| T6 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa d. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de movimento de cargas. | Na questão 11 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |



Figura A3 - Representação de um campo elétrico do estudante A2.

Tabela 30.

Intensidade da força elétrica em campo elétrico com descrição de potenciais no conceito de potencial elétrico - grupo experimental.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|---|
| C1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| T1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| L1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| D1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| J1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa d. |
| C2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| C3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| B1 | Evoluiu. O estudante evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa d. |

| | | |
|----|---|---|
| D2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| A1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| V1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| F1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| R1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| R2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa e. |
| T2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| S1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa a. |

Tabela 31.

Intensidade da força elétrica em campo elétrico com descrição de potenciais no conceito de potencial elétrico - grupo controle.

| Estudante | Laudo | Evidência |
|-----------|---|---|
| T3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| A2 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa c. |
| F2 | Não evoluiu. O estudante não | Na questão 14 do pré-teste assinalou |

| | | |
|----|---|---|
| | evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| T4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| T5 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| G1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa c, e no pós-teste assinalou alternativa b. |
| M1 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa a, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| D3 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 tanto do pré-teste como do pós-teste assinalou alternativa a. |
| D4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa d, e no pós-teste assinalou alternativa c. |
| T6 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa b, e no pós-teste assinalou alternativa a. |
| C4 | Não evoluiu. O estudante não evoluiu a idéia de intensidade de força em campos elétricos com descrição de potenciais. | Na questão 14 do pré-teste assinalou alternativa e, e no pós-teste assinalou alternativa c. |

Tabela 32

Estudantes que aplicam o princípio da atração e repulsão.

| Grupo | Pré-teste (alternativa a,b ou c) | Pós-teste (alternativa a,b ou c) |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Experimental | 15 | 18 |
| Controle | 6 | 7 |

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE

CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



ULBRA

A IMPORTÂNCIA DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO TRATO DAS REPRESENTAÇÕES DA ELETROSTÁTICA

Josiane Maria Weiss

Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto

Canoas, 2006