

Simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss para a eletricidade e da Lei de Ampère em nível de Física Geral

Ives Solano Araujo, Eliane Angela Veit e Marco Antonio Moreira

Instituto de Física – UFRGS – Caixa Postal, 15051 - Campus do Vale. 91501-970, Porto Alegre, RS – Brasil. E-mail: ives@if.ufrgs.br

Resumo: O objetivo deste trabalho foi analisar o processo de ensino-aprendizagem de Física através de uma abordagem que envolveu o uso de simulações computacionais sobre a Lei de Gauss para a Eletricidade e sobre a Lei de Ampère e de um método colaborativo presencial como dinâmica de base para o estabelecimento de relações interpessoais entre o professor e a turma, e os alunos entre si. A fundamentação teórica adotada esteve baseada na teoria de Ausubel sobre aprendizagem significativa e na teoria de Vygotsky sobre interação social. Os resultados sugerem que as atividades de simulação computacionais são potencialmente facilitadoras de aprendizagem significativa em Física, principalmente no que tange as possibilidades de visualização de elementos que contribuem para a reificação de conceitos abstratos. Sugerem, também, que as atividades colaborativas presenciais contribuem positivamente para esse tipo de aprendizagem ao centrar o processo de ensino no aluno.

Palavras-chave: simulações computacionais; Lei de Gauss; Lei de Ampère; ensino de Física.

Title: Computer simulation in the learning of Gauss' law of electricity and Ampère's law at General Physics level.

Abstract: The purpose of this research was to analyze the educational process in physics using didactical approaches involving computer simulations activities about Gauss' law of electricity and Ampère's law in a collaborative learning environment. The theoretical framework adopted was Ausubel's meaningful learning theory and Vygotsky's social interaction approach. Research findings as a whole suggest that computer simulations activities are potentially helpful in facilitating meaningful learning of physics topics, mainly in respect of the visualization possibilities of abstract concepts. They also suggest that the collaborative learning tasks have an important contribution towards this kind of learning, centering the teaching process on student.

Keywords: computer simulations; Gauss' Law; Ampère's Law; physics teaching

Introdução

Sob o ponto de vista de experiências didáticas, nos dias de hoje, as atividades de ensino de Física estão permeadas de propostas envolvendo o uso dos computadores. Aplicativos cada vez mais elaborados vêm sendo criados na tentativa de facilitar a construção do conhecimento por parte do estudante; entretanto, as pesquisas educacionais que se ocupam em investigar de que forma o aprendiz relaciona e compreende os conceitos físicos trabalhados com o uso do computador e como extrair um melhor proveito deste tipo de ferramenta, não seguem o mesmo ritmo. Sem pesquisas deste tipo, corremos o risco de prestar um desserviço aos nossos alunos, pois empregar métodos e materiais inovadores ignorando suas conseqüências sobre a aprendizagem pode ocasionar o reforço de pensamentos e atitudes que justamente deveriam ser superadas, e levar, outra vez, a uma aprendizagem mecânica.

A função das tecnologias de informação e comunicação no processo ensino-aprendizagem em muitas das suas modalidades de uso se restringe à transmissão de informação e à comunicação. No entanto, há modalidades em que as tecnologias funcionam como ferramentas que auxiliam a pensar, com as quais os estudantes aprendem, em vez de aprender somente as tecnologias em si (Jonassen, Carr & Yueh, 2005). O emprego destas ferramentas pode ampliar a capacidade cognitiva além dos limites viáveis sem o uso de recursos tecnológicos. É esta perspectiva que nos atrai e aqui enfocamos, explorando, particularmente, o uso de simulações computacionais no processo de ensino-aprendizagem de Física.

Assim como as leis de movimento e da gravitação de Newton constituem os fundamentos da Mecânica, as leis de Maxwell formam a base do Eletromagnetismo. Apesar disto, resultados de pesquisas educacionais mostram que os alunos encaram estas leis como algo mais a ser decorado, sendo suas equações somente mais um método para a resolução de problemas com alto grau de simetria. De modo geral, podemos agrupar as dificuldades apontadas nos trabalhos de pesquisa em três grandes categorias: a) dificuldades (matemáticas) de operar formalmente com os conceitos envolvidos nas respectivas leis; b) não entendimento, ou entendimento superficial, de conceitos auxiliares que suportam o novo conceito (conceito principal); e c) dificuldades na interpretação do significado físico da lei do ponto de vista fenomenológico.

A busca por uma abordagem pedagógica que permita a superação destas dificuldades, bem como o estudo da interação entre professor-aluno-material didático, fundamenta o propósito deste trabalho. Tendo em vista os mais diversos recursos em potencial (laboratórios, livros-texto, material multimídia, etc.) que podem ser utilizados para atingir tal meta, voltamos nossa atenção para o uso do computador no ensino de Física, mais especificamente ao uso de simulações computacionais. Em relação ao conteúdo escolhido restringimos nossa atenção no presente trabalho à Lei de Gauss para a Eletricidade e à Lei de Ampère, em nível de Física Geral, como um primeiro passo para a abordagem das quatro Leis de Maxwell, peças fundamentais de todo o eletromagnetismo.

Krey (2000), Moreira & Krey (2006), Pinto (2000) e Moreira & Pinto (2003) apontam, além da organização do conteúdo, a falta de elementos

perceptivos e de habilidade em lidar com aspectos abstratos, como a possível causa das principais dificuldades enfrentadas pelos alunos no entendimento da Lei de Gauss e da Lei de Ampère. Nas palavras de Krey (2000, p.89):

Na verdade, os três conceitos que se apresentaram como problemáticos para eles – campo elétrico, fluxo elétrico e superfície gaussiana – são abstrações matemáticas difíceis de modelar mentalmente ante a falta de elementos perceptivos. Quer dizer, a superfície gaussiana é uma superfície hipotética, imaginária, arbitrária; o fluxo elétrico é o fluxo de algo que, a rigor, não existe, as linhas de campo; o campo elétrico por sua vez, é também algo que não se vê e ocupa todo o espaço de uma forma difícil de ser entendida.

No presente trabalho, vinculado a uma tese de doutorado (Araujo, 2005) na área de ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), situada no sul do Brasil, estamos interessados na potencial eficiência de simulações computacionais, como ferramenta de suporte à prática docente, para a elaboração de materiais que sejam potencialmente significativos e possibilitem ao professor disponibilizar os elementos perceptivos necessários a seus alunos, para a compreensão dos conceitos relevantes ao aprendizado significativo das leis aqui abordadas. Em conjunção às atividades exploratórias desenvolvidas a partir das simulações, também analisamos o caráter motivador e promovedor de interações sociais de um método colaborativo presencial. Neste contexto, estabelecemos os seguintes objetivos:

- verificar o efeito motivador do uso de atividades exploratórias com simulações computacionais em conjunto com um método colaborativo presencial;
- buscar evidências de que estas atividades oportunizam aos alunos a externalização, reflexão e discussão de suas próprias idéias em grupo e com o professor;
- por meio da realização de atividades envolvendo simulações computacionais buscar indícios do fornecimento de elementos perceptivos necessários à aprendizagem significativa dos conceitos relevantes à Lei de Gauss para a Eletricidade e à Lei de Ampère.

Considerando que diversas dificuldades conceituais não são superadas pelos alunos mesmo após passarem por um bom ensino tradicional, nos propusemos também as seguintes questões norteadoras de pesquisa: *atividades de simulação computacionais podem contribuir eficazmente no processo de ensino/aprendizagem da Lei de Gauss para a Eletricidade e da Lei de Ampère proporcionando uma aprendizagem mais significativa dessas leis? Como e quanto contribuem? Quais características reunidas pelas atividades de simulação e modelagem computacionais facilitam a aquisição do conhecimento científico?*

Nas seções seguintes apresentamos alguns resultados de nossa revisão da literatura sobre a Lei de Gauss para a Eletricidade e a Lei de Ampère, a metodologia e os resultados obtidos em nossa investigação.

Lei de Gauss para a eletricidade

A Lei de Gauss para a Eletricidade é uma das quatro Leis de Maxwell que fundamenta o Eletromagnetismo. Apesar de sua extrema importância no estudo desta área da Física, ela não é bem compreendida por boa parte dos alunos, mesmo após passarem pelo curso de Física Geral. Não raro, esta lei física é vista por muitos alunos como apenas mais uma equação, um caso particular da Lei de Coulomb, válida para a resolução de problemas com alto grau de simetria. Esta visão, de fato, se deve muito à maneira como ela é apresentada aos alunos. Deste ponto em diante, quando falarmos somente em Lei de Gauss sem outra especificação, estaremos nos referindo à Lei de Gauss para a Eletricidade. Conforme apontado por Goldman, Lopes & Robilotta (1981), a abordagem didática da Lei de Gauss, tipicamente, começa apresentando-a como uma nova formulação da Lei de Coulomb para simplificar o cálculo do campo elétrico em situações envolvendo simetria. Logo após, é introduzido o conceito de fluxo de um campo vetorial (e.g., corrente de ar ou um campo de velocidade de um fluido), para então definir o fluxo de um campo elétrico. Então, a Lei de Gauss na forma integral é apresentada ($\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{\text{int}}$) como a relação existente entre o fluxo resultante de um campo elétrico através de uma superfície fechada (uma superfície gaussiana) com a carga líquida envolvida por esta superfície, e é deduzida a expressão do campo elétrico para uma carga pontual no centro de uma superfície gaussiana esférica, chegando ao mesmo resultado fornecido pela Lei de Coulomb. Desta forma, demonstra-se a "validade" da Lei de Gauss. O próximo passo é mostrar que a Lei não se altera mesmo se modificamos o formato da superfície gaussiana e também, que o fluxo total só é afetado pelas cargas internas à gaussiana. Por último, através do princípio de superposição, a lei é generalizada para o caso de uma distribuição de cargas qualquer. Após esta breve contextualização de como a Lei de Gauss é abordada convencionalmente em sala de aula, apresentamos na tabela 1 as principais dificuldades de seu entendimento por parte dos alunos, encontradas na literatura.

Em uma ampla revisão da literatura, abrangendo as principais revistas de pesquisa e ensino de Ciências, no período de 1990 a 2005 (Araujo, 2005), encontramos dois trabalhos envolvendo o uso de simulações computacionais para o ensino da Lei de Gauss. Massons et al. (1993), avaliaram os efeitos no ensino de Física da inclusão de um *software* capaz de simular linhas de campo elétrico produzidos por cargas estáticas e integrar numericamente o fluxo do campo elétrico através de uma superfície gaussiana definida pelo usuário. O *software* foi utilizado com 40 alunos do ensino superior de licenciatura em Química e um teste com questões objetivas foi aplicado no início e no fim do tratamento, com consulta livre a qualquer material que o aluno dispusesse. Com base no percentual de acertos obtidos nos testes, os autores concluem que a utilização do *software* promoveu uma melhoria significativa no desempenho dos estudantes, motivando o aluno a aprender e facilitando sua compreensão dos fenômenos eletrostáticos.

O outro trabalho encontrado foi o de Cox, Belloni & Christian (2005) que buscaram avaliar a combinação de duas ferramentas pedagógicas: simulações computacionais e questões de ordenamento (*ranking tasks*),

através de um estudo de caso envolvendo a aplicação de duas questões de ordenamento animadas, a cinco alunos cursando uma disciplina de Física Geral. Após uma aula expositiva curta, para introduzir a Lei de Gauss, os alunos foram instruídos a trabalharem dois exercícios em sala de aula e depois discutirem seus resultados em grupo. Na primeira tarefa foi solicitado aos alunos que determinassem, em ordem decrescente, o fluxo elétrico através de três esferas gaussianas concêntricas (mostradas como círculos no plano xy) envolvendo uma única carga pontual e na segunda tarefa, que ordenassem, em termos da quantidade de carga, cinco cargas pontuais utilizando uma simulação que disponibilizava "detectores de fluxo elétrico" na forma de esferas e cubos de diferentes tamanhos. Em relação à primeira tarefa, um detector móvel de campo elétrico fornecia os valores do campo elétrico em qualquer ponto da janela de simulação, sendo fornecidas, também, as coordenadas do ponto.

Lei de Gauss		
Índice	Dificuldade	Exemplos de argumentação
DG1	Visão da Lei de Gauss como apenas um método para resolução de problemas com alto grau de simetria.	"A Lei de Gauss é um método que nos permite calcular o campo elétrico mais facilmente que a Lei de Coulomb quando temos simetria."
DG2	Confusão entre campo elétrico e fluxo do campo elétrico.	"Se não houver carga alguma dentro da superfície gaussiana, o campo é nulo."
DG3	[Superposição dos campos] o campo elétrico referido pela Lei de Gauss é devido somente às cargas internas à superfície gaussiana.	"Apenas o campo produzido pelas cargas dentro da superfície gaussiana precisa ser considerado, pois a contribuição das cargas externas é zero."
DG4	Escolha da forma e onde posicionar a superfície gaussiana.	"Nunca sei qual a forma e onde colocar a origem da superfície gaussiana, pois mudam a cada problema."
DG5	Confusão entre as dimensões da gaussiana com as dimensões de objetos que compõem o sistema.	"Não consigo distinguir quando devo usar o raio da esfera ou o raio da gaussiana para calcular o campo elétrico de uma esfera isolante carregada."
DG6	Dificuldade em identificar a carga líquida envolvida pela superfície gaussiana.	"Faço confusão quando tenho que determinar qual a carga líquida quando o raio da gaussiana é menor do que o raio da esfera e esta tem 'buracos dentro' " (casca esférica).
DG7	Confusão entre o fluxo do campo elétrico e o fluxo de cargas.	"A Lei de Gauss serve para calcularmos o campo elétrico em um ponto a partir do fluxo de cargas que atravessa uma superfície gaussiana."

Tabela 1.- Principais dificuldades dos estudantes na aprendizagem da Lei de Gauss (Goldman, Lopes & Robilotta, 1981; Viennot & Rainson, 1992; Krapas, Alves & Carvalho, 2000; Guisasola et al., 2003; Moreira & Pinto, 2003; Moreira & Krey, 2006).

A partir destas informações, um aluno mediu o campo elétrico sobre cada superfície e calculou o produto do campo elétrico pela área da superfície gaussiana enquanto outros dois estudantes argumentaram (sem fazer medições cuidadosas) que devido ao fato do campo elétrico diminuir quando a área da superfície aumenta, o fluxo deveria ser o mesmo. É interessante observar que o fluxo é constante através de uma superfície qualquer devido à dependência com $1/r^2$ do campo elétrico. Para uma dependência genérica do tipo $1/r^n$ o fluxo cai com $1/r^{n-2}$. Nenhum dos alunos mencionou que, desde que a carga envolvida pelas diferentes superfícies seja a mesma, o fluxo deve ser o mesmo. Um dos alunos se confundiu com a simulação (interpretou os vetores de campo elétrico mostrados na animação com as linhas de campo elétrico não mostradas) ordenando da menor superfície para a maior. Outro aluno não conseguiu terminar a tempo nenhuma das duas tarefas porque tentou medir o tamanho de cada superfície apresentada para relacionar com o fluxo elétrico em ambas as tarefas. Os três estudantes que conseguiram terminar a segunda tarefa resolveram corretamente a questão raciocinando que o fluxo do campo elétrico está relacionado com a carga envolvida, independente do tamanho e/ou forma do detector de fluxo. Após uma pequena discussão fomentada pelo instrutor, os alunos perceberam que este raciocínio também poderia ser aplicado à primeira tarefa.

Os autores concluem que o uso de questões de ordenamento animadas podem, em alguns casos, ajudar na visualização do problema proposto, facilitando sua compreensão. Além disso, elas tornam possível a implementação de tarefas que seriam, em princípio, inviáveis em versões em lápis e papel. Finalmente é argumentado que questões de ordenamento animadas podem permitir ao professor avaliar o conhecimento dos alunos e ajudá-los na compreensão conceitual.

Lei de Ampère

A segunda Lei Física abordada neste trabalho, a Lei de Ampère, se refere a um caso particular de outra das quatro Leis de Maxwell, a Lei de Ampère-Maxwell. Esta particularização se refere a situações onde não existem variações temporais do fluxo de campo elétrico. Em outras palavras, estamos considerando a produção de um campo magnético devido apenas a correntes elétricas de condução. Assim como a Lei de Gauss, ela também não é bem compreendida por boa parte dos alunos, mesmo após passarem pelo curso de Física Geral. Uma típica abordagem didática da Lei de Ampère, por exemplo, apresentada por Halliday, Resnick & Walker (2003), começa com uma analogia com a Lei de Gauss, mencionando que, assim como esta facilita os cálculos em relação à Lei Coulomb, a Lei de Ampère facilita os cálculos, em relação à Lei de Biot-Savart, para problemas envolvendo corrente constante e alto grau de simetria nas linhas de campo magnético. Logo após é apresentada a expressão matemática da Lei de Ampère ($\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{enc}$) como uma relação existente entre a integral de linha do campo magnético ao longo de um percurso fechado arbitrário (laço amperiano) e a corrente líquida (discutida em detalhe) envolvida por este laço, e é deduzida a expressão matemática para o campo magnético fora de um fio reto longo conduzindo corrente elétrica constante, chegando ao

mesmo resultado obtido através da Lei de Biot-Savart de forma mais trabalhosa. Dessa forma, demonstra-se a "validade" da Lei de Ampère. Em seguida, usa-se a Lei de Ampère para obter uma expressão para o campo magnético no interior de um fio reto longo com corrente. Após, utiliza-se a Lei de Ampère para calcular o campo magnético no interior de um solenóide com corrente elétrica estacionária, ilustrando o fato de que mesmo modificando a forma do laço amperiano a lei não é alterada e que o valor da integral de linha só é alterado pelas correntes elétricas que atravessam a área delimitada pelo laço. Como um último exemplo, é discutido o campo magnético devido a um toróide conduzindo corrente elétrica constante. Tendo feito esta breve contextualização sobre como a Lei de Ampère é abordada convencionalmente em sala de aula, apresentamos na tabela 2 um apanhado das principais dificuldades do entendimento desta lei por parte dos alunos, encontradas na literatura.

Lei de Ampère		
Índice	Dificuldade	Exemplos de argumentação
DA1	Visão da Lei de Ampère como apenas um método para resolução de problemas com alto grau de simetria.	"A Lei de Ampère é um método que nos permite calcular o campo magnético mais facilmente do que usando a Lei de Biot-Savart para casos com simetria."
DA2 ¹	Confusão de linha amperiana com "superfície" amperiana.	"...a superfície amperiana que envolve a corrente líquida..."
DA3	[Superposição dos campos] o campo magnético referido pela Lei de Ampère é devido somente às correntes internas à linha amperiana	"A Lei de Ampère indica que são as intensidades (de corrente) que atravessam a linha amperiana que criam o campo magnético."
DA4	Confusão entre campo magnético e circulação do campo magnético	"Se a corrente líquida envolvida pelo laço amperiano é zero, o campo magnético é nulo sobre ele."
DA5 ²	Determinação do contexto de validade da Lei de Ampère	"A Lei de Ampère é válida sempre, para qualquer situação."

1: Esta dificuldade é questionada no presente trabalho.
2: Ao contrário das demais, a dificuldade DA5 foi detectada em um estudo exploratório vinculado a este trabalho (Araujo, Veit & Moreira, 2005).

Tabela 2.- Principais dificuldades dos estudantes na aprendizagem da Lei de Ampère (Guisasola et al., 2003; Moreira & Pinto, 2003).

Em nossa revisão da literatura (Araujo, 2005), não encontramos artigos sobre o uso de simulações computacionais para o aprendizado da Lei de Ampère.

Tendo descrito brevemente a seqüência convencional de ensino das leis de Gauss e de Ampère, bem como as principais dificuldades enfrentadas pelos alunos em relação a essas leis, passamos à discussão do delineamento e desenvolvimento de nossa pesquisa.

Atividades exploratórias com simulações computacionais

Para auxiliar os alunos na superação das dificuldades associadas às leis de Gauss e de Ampère, consideramos que o uso de uma ferramenta computacional que pudesse fornecer os elementos perceptivos necessários para o entendimento de conceitos abstratos, associados a estas leis, poderia também motivá-los para a realização das tarefas propostas. Através desta motivação, buscamos o comprometimento dos alunos com seu próprio aprendizado, de modo que se dispusessem a relacionar o novo conhecimento de forma não-arbitrária e não-literal em sua estrutura cognitiva, condição necessária para que haja uma aprendizagem significativa do ponto de vista ausubeliano (Moreira, 1999, 2006).

Dentro deste contexto, optamos no presente trabalho pela tradução para o português, adaptação e desenvolvimento de atividades exploratórias utilizando Physlets disponíveis em Belloni & Christian (2004) e Christian & Belloni (2001). Physlets (*Physics + applets*) são aplicativos escritos na linguagem Java que podem ter suas propriedades modificadas através de instruções em *JavaScript*, no código-fonte da página em html, onde os programas são executados, através de um *web browser*. Cada Physlet funciona como um objeto independente, a partir do qual podem ser elaboradas diversas simulações computacionais. A escolha e o desenvolvimento de cada atividade em nosso estudo levaram em consideração as dificuldades apresentadas nas Tabelas 1 e 2. De modo geral, atividades exploratórias de simulação caracterizam-se pela observação, interação e análise das simulações, por parte do aluno, no intuito de permitir-lhe a percepção e a compreensão das relações existentes entre variáveis e conceitos pertinentes ao modelo teórico subjacente à simulação.

Ao todo, trabalhamos com seis atividades exploratórias para as duas leis. Para a Lei de Gauss, foram escolhidas três simulações cujo foco estava: na relação entre as linhas de campo elétrico e a escolha da superfície gaussiana adequada; no fluxo do campo elétrico através de superfícies gaussianas de diversas formas; na relação da carga líquida no interior de uma superfície gaussiana com o fluxo através da mesma; e na discussão sobre a escolha da forma da superfície gaussiana de acordo com a simetria das linhas de campo elétrico.

Quanto à Lei de Ampère, trabalhamos também com três simulações nas quais estávamos interessados nas relações entre: laço amperiano e a corrente líquida envolvida; campo magnético e circulação do campo magnético; sentido de integração e circulação do campo magnético; a escolha da forma do laço amperiano e a simetria das linhas de campo magnético.

No apêndice A, mostramos duas telas ilustrativas de duas simulações computacionais, uma sobre a Lei de Gauss e outra sobre a Lei de Ampère, ambas acompanhadas de seu respectivo guia de atividades.

As simulações computacionais escolhidas trazem recursos representacionais que acreditamos ser adequados à visualização de conceitos abstratos, como fluxo do campo elétrico e campo magnético, por exemplo. Estas simulações, através de uma interface simples, permitem a

focalização de aspectos conceituais que queremos que os alunos compreendam melhor, sem acrescentar detalhes puramente "alegóricos", freqüentes em muitas simulações computacionais, e que podem desviar a atenção dos conceitos físicos que se quer abordar. Ao trabalharmos uma experiência complexa, ou com uma simulação muito rebuscada graficamente, o aluno pode prestar atenção em aspectos não-pertinentes ao que estamos buscando explicitar; em outras palavras, corremos o risco de que ele se deslumbre com efeitos visuais e deixe de lado a essência do processo.

O uso de simulações computacionais insere-se em nosso trabalho como um elemento adicional às práticas realizadas em sala de aula no estudo das leis de Gauss e de Ampère, utilizando um método que pode ser chamado de colaborativo presencial, apresentado em maior detalhe na próxima seção. Deve ficar claro que não se trata de se ter mais aulas usando simulações computacionais, pois estas estão inseridas dentro da carga horária normal da disciplina.

Texto de apoio e entrevistas

Em um estudo exploratório anterior (Araujo, Veit & Moreira, 2005), realizado com uma turma de Física Geral III, formada por alunos dos cursos de Engenharia da UFRGS, utilizamos as simulações mencionadas acima em situações de sala de aula e percebemos a necessidade da elaboração de um texto de apoio que desse suporte a uma reformulação da abordagem tradicional sobre as leis de Gauss e de Ampère (que privilegia a visão destas leis como simples métodos para a resolução de problemas) de modo que a operacionalização matemática seja decorrente de uma abordagem mais conceitual e fenomenológica e não como um fim em si.

O referido texto de apoio (Araujo, 2005), com cerca de 20 páginas, foi confeccionado de modo a apresentar uma visão geral do conteúdo a ser trabalhado, apresentando logo no seu início as Leis de Maxwell com seus enunciados e significado físico para que o aluno perceba onde se insere na estrutura da disciplina o novo conhecimento a ser aprendido (leis de Gauss e de Ampère). As dificuldades apresentadas nas Tabelas 1 e 2 também foram explicitamente consideradas para a formulação do texto, bem como o trabalho de Moreira (1977) quanto aos aspectos fenomenológicos, e as recomendações de Goldman, Lopes & Robilotta (1981) em relação à abordagem da Lei de Gauss.

Na tentativa de responder às nossas questões de pesquisa, coletamos dados em nossa observação participativa, nas tarefas e provas realizadas pelos alunos e também em duas entrevistas semi-estruturadas. Nossa primeira entrevista (Apêndice B – Entrevista 1) abordou a Lei de Gauss tendo como base seis questões elaboradas a partir das dificuldades apresentadas na Tabela 1, e quatro perguntas relativas à abordagem didática utilizada. A segunda entrevista (Apêndice B - Entrevista 2) abordou a Lei de Ampère tendo como base cinco questões elaboradas a partir das dificuldades apresentadas na Tabela 2 e duas perguntas relacionadas à abordagem didática empregada. As questões EA2 e EA4, ambas da entrevista sobre a Lei de Ampère, foram adaptadas de Guisasola et al. (2003).

Contexto

Trabalhamos com 11 (onze) alunos do curso graduação em Física matriculados na disciplina de Física Geral III, no Departamento de Física da UFRGS, durante o primeiro semestre de 2005. Dentro de uma metodologia eminentemente qualitativa, optamos por realizar um estudo de caso os alunos matriculados na disciplina. Por motivos de doença, um dos alunos não conseguiu realizar as atividades relacionadas à presente investigação. Estes alunos tiveram duas aulas teóricas de 1h e 40 min cada e uma aula experimental de 2h e 10 min semanalmente ao longo de todo o semestre. De modo geral, a cada aula, foi feita uma exposição de 30 a 40 min seguida da realização de uma tarefa, pelos alunos, em pequenos grupos (no máximo três alunos), tendo um dos pesquisadores atuado como professor da parte teórica da disciplina. Esta tarefa, cujo resultado era entregue ao final da aula para o professor, continha alguns problemas ou algumas questões teóricas ou, ainda, construir um mapa conceitual sobre o conteúdo e, eventualmente apresentá-lo, fazendo parte da avaliação da disciplina. Durante a realização destas tarefas o professor interagiu intensamente com os alunos e estes, por sua vez, interagiram bastante entre si. A interação pessoal, defendida por Vygotsky (2003), é um elemento chave deste método que, conforme mencionamos anteriormente, podemos chamar de *método colaborativo presencial*.

Além da interação social entre professor-aluno, salientada por Vygotsky, a interação entre os próprios alunos mostra-se vital para a consecução da aprendizagem por parte do aluno. Muitas vezes durante um episódio de ensino, o professor pode encontrar dificuldades em expressar os conceitos de forma compreensível para os alunos e o diálogo entre eles pode permitir que, sob a supervisão do professor, aqueles que começaram a captar os significados socialmente aceitos, possam explicar para os colegas numa linguagem mais acessível, como eles compreenderam, além de oportunizar a verificação por parte do professor de como os alunos estão compreendendo (Araujo, Veit & Moreira, 2005).

As aulas experimentais, ministradas por outro professor, não foram observadas no presente estudo. Na primeira aula de introdução a cada lei, após a explanação do professor, os alunos receberam um texto de apoio, mencionado na seção anterior, e resolveram problemas exemplares, em pequenos grupos, a serem entregues ao final da aula. Nas duas aulas seguintes parte do tempo que seria dedicado à realização de tarefas foi utilizado com atividades exploratórias envolvendo simulações computacionais, realizadas em um laboratório de informática com duas aulas (3h e 20 min) para cada lei. Os alunos realizaram as atividades exploratórias, a partir dos guias (veja dois exemplos no apêndice A) entregues impressos a cada um e a serem devolvidos, um por grupo, devidamente preenchidos ao final da aula.

Para a realização das atividades, os alunos foram divididos em cinco duplas. Foi disponibilizado um computador para cada dupla, sendo permitida, e até mesmo incentivada, a interação entre os grupos e com o professor, sempre que necessário. Tanto as notas de aula, quanto o texto de apoio puderam ser consultados livremente durante a realização das tarefas. Salientamos, uma vez mais, que as atividades foram desenvolvidas

de forma integrada às aulas da disciplina, ou seja, em situação de sala de aula e no tempo normalmente disponível para a realização de exercícios e problemas.

As entrevistas, realizadas duas semanas após o término das atividades computacionais, duraram aproximadamente 25 minutos cada, e foram feitas gravações do áudio para análises posteriores. Antes de cada entrevista foi solicitado, a cada um dos 10 alunos, que respondessem as questões da maneira mais espontânea possível, foi explicado que não fazia parte da avaliação da disciplina e, ainda, que o entrevistador iria falar somente o necessário para o andamento da entrevista. Os alunos puderam também rabiscar à vontade para explicar suas idéias, o que serviu de material de apoio para o pesquisador na descrição e interpretação das entrevistas.

Resultados

Com o objetivo de exemplificar os dados coletados nas entrevistas, apresentamos na forma de uma tabela no Apêndice C as principais informações fornecidas por um dos alunos (Aluno 7) em resposta aos questionamentos do entrevistador. Observe que as respostas estão em português coloquial, extraídos de fragmentos das falas do aluno. Passamos agora aos comentários interpretativos dos dados coletados em nossa observação participante, na realização de provas, tarefas e, principalmente, em nossas entrevistas com os 10 alunos envolvidos no estudo. Contudo, é importante frisar que tais comentários refletem também, e não secundariamente, nossas impressões formadas ao longo de todo o processo de interação com os alunos ao longo do semestre.

Aluno 1:

Em nossa interação com o Aluno 1 em sala de aula percebemos uma certa falta de dedicação aos estudos e tendências à dispersão por qualquer coisa. Apesar de afirmar que tem "pavor do computador" considerou as atividades interessantes porque permitem visualizar aspectos do conteúdo abordados em aula. Pareceu-lhe complicado trabalhar com as simulações, se mostrando um pouco frustrado por não conseguir completar as tarefas rapidamente, porém na entrevista considerou muito positiva a possibilidade de interagir e corrigir eventuais erros. O Aluno 1 parece ter compreendido apenas parcialmente a Lei de Gauss, apresentando dificuldades em perceber que o campo elétrico envolvido na expressão matemática da Lei de Gauss se deve a todas as cargas do sistema e não somente à carga líquida. Aparentemente, sua compreensão da Lei de Ampère foi melhor. Pudemos detectar apenas uma dificuldade em estabelecer a corrente líquida que atravessa a área delimitada pelo laço amperiano na situação problemática envolvendo um solenóide. Em relação ao texto de apoio sobre a Lei de Ampère, acreditamos que este tenha motivado o Aluno 1 a estudar a matéria. De modo geral, em nossa opinião, o aspecto mais relevante para a motivação do aprendizado deste estudante foi a realização de tarefas em grupo na sala de aula, salientando a interação com os colegas como o principal fator motivador para continuar aprendendo, apesar de suas dificuldades.

Aluno 2:

Em sala de aula, o Aluno 2 sempre acompanhou a matéria através do livro-texto e se mostrou interessado nas explicações do professor, se manifestando em aula sempre que tinha dúvidas. Fez uma leitura crítica do texto de apoio, no sentido que buscou a todo instante comparar o material recebido com aquilo que estava no livro-texto e apontando diferenças de estilo entre os mesmos. Talvez pela sua valorização à abordagem utilizada no livro-texto, num primeiro momento (sobre a Lei de Gauss), teve dificuldades em perceber o significado físico da Lei de Gauss, se atendo à visão desta Lei apenas como um método para facilitar os cálculos. Também pudemos observar que o Aluno 2 fazia uma confusão entre o conceito de força elétrica e campo elétrico, percebendo ainda a Lei de Gauss como um caso particular da Lei de Coulomb. Outra dificuldade inicialmente observada foi a confusão entre os conceitos de fluxo do campo elétrico e campo elétrico ao raciocinar sobre qual deles era proporcional à carga líquida. *Grosso modo*, podemos dizer que o Aluno 2 se mostrou um entusiasta do uso do computador em atividades de sala de aula, indicando que conseguiu compreender melhor o conteúdo em estudo a partir de uma melhor visualização da situação-problema abordada por meio do computador. Em relação aos trabalhos realizados em grupo na sala de aula, salientou o fato que geralmente os colegas dispõem de uma maneira mais fácil de explicar, com um nível mais adequado ao seu, do que o professor, tornando deste modo as atividades em grupo mais produtivas. No que diz respeito à Lei de Ampère, em nossa análise, o estudante apresentou apenas uma dificuldade a ser destacada, a da determinação do contexto de validade da Lei de Ampère. Sua descrição das atividades exploratórias de simulação para a Lei de Ampère foi de modo geral muito detalhada, distinguindo o trabalho realizado com cada uma e lembrando de muito mais detalhes que seus os colegas. Isto talvez se justifique pelo seu, já referido, entusiasmo pelo computador como uma ferramenta em sala de aula.

Aluno 3:

O Aluno 3 estava repetindo pela terceira vez a disciplina de Física III. Este aluno apresentava claramente uma falta de motivação em estudar e até mesmo participar das aulas, costumava sempre chegar atrasado de 10 a 15 minutos e falar pouco em sala de aula. Após as primeiras semanas, começou a participar ativamente das aulas e a levantar as questões mais relevantes em termos da compreensão da matéria. Creditamos este fato à abertura da possibilidade de uma interação maior com o professor e da discussão gerada pelas atividades realizadas em sala de aula. Em vários momentos, o Aluno 3 comparou a dinâmica utilizada na disciplina durante o semestre em que ocorreu o estudo com os semestres anteriores, afirmando várias vezes que desta terceira e última vez ele iria sair sabendo alguma coisa. De fato, o desempenho deste aluno tanto nas provas quanto nas entrevistas sugerem que isto ocorreu. Salienta também que desta vez sente a turma como um todo participando da aula e não de uma maneira isolada, onde alguns acompanhavam e outros não, como em episódios anteriores. Em relação à Lei de Gauss em geral, não apresentou dificuldades no entendimento ou aplicação da mesma. Sobre a Lei de Ampère, também não apresentou maiores dificuldades. Quanto às atividades exploratórias de

simulação destacou que estas foram fundamentais para que compreendesse bem o conteúdo, argumentando que a possibilidade de visualizar permite que se tenha uma idéia do comportamento dinâmico dos fenômenos descritos pelos modelos e se entenda como se chegam aos resultados. Outro ponto que destacou, também, é a possibilidade de interagir com as simulações. Não ficar restrito à sua visualização, mas poder explorá-las contribuiu, segundo ele, para que se defrontasse com situações que até então não haviam sido percebidas e, desta forma, antecipar o surgimento de possíveis dúvidas, aproveitando para esclarecê-las com o professor. Em relação ao texto de apoio, salientou que a linguagem e o direcionamento dado ao mesmo o ajudaram a entender o conteúdo sem maiores dificuldades.

Aluno 4:

O Aluno 4 desde o primeiro dia de aula mostrou-se pontual, disciplinado e estudioso. Participa em sala de aula, sempre que solicitado, mas não gostou de trabalhar em grupo, preferindo trabalhar individualmente e, se possível, em casa. De modo geral, podemos dizer que encarava as tarefas em sala de aula como um excesso, visto que já está habituado a fazê-las, corretamente, em casa. Não apresentou maiores dificuldades tanto na Lei de Gauss, quanto na Lei de Ampère. Disse acreditar que as atividades usando o computador o ajudaram bastante a ver o que estava acontecendo nas situações físicas apresentadas e por lhe darem a possibilidade de "mexer" na simulação e visualizar o que acontece. Salientou, em várias situações, que considera boas as atividades de simulação e modelagem computacionais, entretanto acha inadequado o tempo dispensado às mesmas, argumentando que necessita de mais tempo para poder melhor entendê-las. A nosso ver, esse aluno pode ser definido como um autodidata, e se adaptaria bem a um método de ensino em que essa característica se fizesse presente, como o método Keller, por exemplo. Em relação ao texto de apoio, a nosso ver, foi considerado pelo Aluno 4 como um texto dirigido aos questionamentos que seriam realizados em futuras avaliações.

Aluno 5:

Em nossa observação do Aluno 5 destacamos dois aspectos: a dedicação à disciplina em geral e a dificuldade de visualização das situações físicas no quadro negro, em sala de aula. Foi um dos alunos mais participativos em sala de aula sendo, sem dúvida, aquele que mais expressou suas dificuldades de aprendizagem ao professor. Em especial, destacou a resolução de exercícios em sala de aula e a ajuda dos colegas nas atividades em grupo, como uma boa estratégia para aprender. Como já foi mencionado, sua maior dificuldade esteve relacionada à visualização, acrescentando que não consegue de fato aprender, se não conseguir "enxergar" o que está acontecendo. Por este motivo, o Aluno 5 destacou, em vários momentos, que as atividades de simulação computacional tiveram um papel fundamental na reificação dos conceitos de campo elétrico, campo magnético, fluxo do campo elétrico e da circulação do campo magnético. Salientou também que sua interação com as simulações permitiram, ao alterar alguns parâmetros, que pudesse ver o que acontecia

com o sistema gerando uma compreensão de como as grandezas estão relacionadas. Comparou o texto de apoio com o livro-texto, argumentando que o primeiro abordava o conteúdo de forma mais teórica e explicativa do que o segundo, que privilegiava a parte prática, resolução de exercícios. Em relação à Lei de Gauss, detectamos que o Aluno 5 apresentou dificuldades na diferenciação de campo elétrico e fluxo do campo elétrico, talvez devido à não representação das linhas de campo nas questões apresentadas na Entrevista 1. Em relação à Lei de Ampère a dificuldade detectada diz respeito à validade da Lei de Ampère, em que não associou a mudança de sentido na corrente elétrica conduzida por um fio com uma variação do fluxo do campo elétrico deste fio, ou seja, como uma variação desta corrente.

Aluno 6:

O Aluno 6 na resolução de exercícios em sala de aula, na maioria das vezes, priorizou o desenvolvimento matemático em relação à compreensão física dos fenômenos. Segundo sua opinião, um dos pontos fortes das aulas teóricas foi a realização de exercícios logo após o conteúdo ter sido discutido, dando maiores oportunidades para o esclarecimento de possíveis dúvidas que tenham surgido, perguntando diretamente ao professor. A ajuda prestada pelos colegas durante a realização das tarefas em sala de aula também foi destacada. Acreditamos que o Aluno 6, até mesmo por priorizar em demasia os aspectos matemáticos dos problemas físicos apresentados, tenha muita dificuldade em seguir resolvendo um problema, por exemplo, após seus resultados terem dado errado, por não ter feito considerações físicas suficientes para resolver a questão. Quanto ao seu trabalho com as atividades exploratórias de simulação, ele sugeriu em várias situações que elas seriam melhor conduzidas se houvesse mais tempo disponível para a realização das mesmas, mencionando que é preciso um tempo maior para “digeri-las” adequadamente, para em suas palavras: “...se acostumar com o choque entre aquilo que tu pensa e o que é real” e até mesmo dominar melhor o uso do computador como ferramenta. De qualquer modo, ele considera que as atividades no computador são úteis para a visualização do fenômeno físico, para pensar sobre situações que ele não havia pensado antes e também questionar sobre o que estava aprendendo, a partir da reflexão das conseqüências de sua interação com as simulações. Sobre o texto de apoio, afirmou que o mesmo está bem formulado e explica determinados pontos de modo mais claro que o livro-texto, sugerindo ainda a inclusão de gráficos para melhorar o texto de apoio. Em relação às Leis de Gauss e Ampère, o Aluno 6 manteve uma visão essencialmente matemática das mesmas, apresentando também dificuldades em relação à validade da Lei de Ampère, ao confundir o campo magnético com sua circulação e não perceber que o campo magnético abordado na expressão matemática da Lei Ampère se deve a todas as correntes envolvidas no sistema.

Aluno 7:

O Aluno 7 no início do semestre faltou a muitas aulas e costumava chegar sempre atrasado. Dependendo do tipo de atividade desenvolvida em sala de aula, ele perdia facilmente a atenção e começava conversas

paralelas em sala de aula. Parecia também muito desmotivado nas primeiras semanas, quando acreditamos que ele fosse desistir da disciplina a qualquer momento. Aos poucos, com o desenrolar da realização das aulas, passou de modo crescente a se interessar pelo conteúdo, a participar um pouco mais das aulas e a realizar as tarefas propostas com maior seriedade, o que no início só fazia para "não prejudicar o grupo". Após algum tempo, mencionou que estava gostando das aulas, pela dinâmica ser diferenciada em relação às demais e que agora, em suas palavras, "... eu via que antes era só muito cálculo e agora eu tô vendo a parte teórica bem melhor". Em relação aos trabalhos em grupo, destacou o aspecto colaborativo na resolução de problemas, argumentado que nesse tipo de atividade um ajuda o outro, possibilitando uma continuidade do trabalho. Salientou, de forma enfática, que acha muito bom fazer exercícios em sala de aula, porque de outro modo não arranjaria tempo para sentar e fazê-los em casa, leia-se, não teria disposição e concentração para tal. Quanto à realização das atividades exploratórias de simulação, acredita que elas o ajudaram a conhecer melhor o conteúdo, permitindo que ele compreendesse, através da visualização das situações físicas, vários conceitos que não estavam completamente entendidos. De modo geral, observamos que o Aluno 7 conseguiu superar boa parte de suas dificuldades iniciais tanto em relação à Lei de Gauss, quanto em relação à Lei de Ampère. Entretanto, nesta última, ainda não conseguiu perceber que o campo magnético apresentado na expressão matemática da Lei de Ampère é gerado por todas as correntes elétricas presentes no sistema. Em relação ao texto de apoio, o Aluno 7 o descreveu como um texto claro que lhe facilitou compreender melhor o conteúdo, salientando que através dele conseguiu perceber que a Lei de Ampère só pode ser aplicada a situações com corrente constante.

Aluno 8:

O Aluno 8 demonstrou um comportamento retraído e pouco participativo nas aulas, costumando também chegar atrasado na maioria delas. Entretanto, observamos que este aluno possui uma grande facilidade para entender a matéria quando motivado e que, com um pouco de cobrança, seu desempenho e motivação melhoraram muito. Mostrou-se também motivado a trabalhar em grupo, e, principalmente, porque estas tarefas faziam parte da avaliação da disciplina. Outro fator positivo, por ele destacado, é que neste tipo de trabalho um pode tirar a dúvida do outro quando elas aparecem. Em relação ao seu aprendizado da Lei de Gauss, detectamos a visão desta Lei apenas como um método para resolver problemas e em relação à Lei de Ampère, observamos uma dissociação entre o raciocínio de que todas as correntes do sistema contribuem para o campo magnético resultante e o uso desta informação na expressão matemática da referida lei. Isto aparece repetidas vezes ao longo de nossas observações. Quanto à realização de atividades exploratórias de simulação, o Aluno 8 destacou a possibilidade de interagir com as mesmas e poder visualizar o que acontece, como ponto forte, dando um passo além do que apenas ficar ouvindo e acreditando "piamente" no que diz o professor. Sobre o texto de apoio, na parte da Lei de Gauss, demonstrou ter gostado do texto, afirmando que o ajudou a compreender o que é o fluxo do campo

elétrico e o porquê da arbitrariedade do formato das superfícies gaussianas. Na parte referente à Lei de Ampère não o leu com atenção.

Aluno 9:

O Aluno 9 demonstrou grande interesse e boa vontade em aprender. Participou das aulas de forma espontânea e demonstrou dedicação à disciplina. Entretanto, pudemos observar o emprego, de modo acentuado, de uma estratégia essencialmente memorística, para aprender. Este aluno, por dificuldades com a matemática, procurou decorar os passos intermediários entre os cálculos, de modo a reproduzi-los quando solicitado, ficando em segundo plano a compreensão física do assunto em questão. Em relação tanto à Lei de Gauss, quanto à Lei de Ampère, acreditamos que o Aluno 9 não as tenha compreendido, ou, se compreendeu, deve ter sido apenas em um nível muito superficial. Analisando principalmente os resultados das entrevistas vemos que este aluno continua apresentado quase todas as dificuldades das Tabelas 1 e 2. Talvez, por dificuldades enfrentadas em outras disciplinas, ou outro fator que desconhecemos, ficamos com a impressão que este aluno está buscando aprender através da memorização tudo que lhe é solicitado. Observamos, no entanto, alguma motivação em tentar aprender de outra forma, quando começamos a ser mais procurados por ele, para discutir o texto de apoio e as atividades exploratórias de simulação após a aula. Em relação a estas atividades, salientou o aspecto da visualização como um ponto importante para a sua compreensão do assunto. Ao realizar tarefas em grupo, pareceu se sentir mais à vontade em tirar dúvidas com os colegas, do que procurar o professor para pedir explicação. Sobre o texto de apoio mencionou em várias situações que o achou bem explicativo, de fácil compreensão, mais direcionado ao modo como vínhamos abordando o conteúdo em sala de aula.

Aluno 10:

O Aluno 10 foi um dos alunos mais dedicados da turma, tendo participado de todas as discussões levantadas pelo professor em sala de aula, e completado todas as tarefas e atividades de modo diligente. Em relação à dinâmica em sala de aula, o principal ponto que destacou foi a possibilidade de uma interação maior com o professor. Algo que, segundo ele, não havia tido em outras disciplinas até então. Salienta ainda que, através desta interação, começou a parar para pensar sobre o conteúdo e não somente resolver os exercícios. Quanto à realização dos trabalhos em grupos, o Aluno 10 manifestou, desde as primeiras tarefas, uma preferência por trabalhar individualmente. Sempre que possível, realizou as tarefas de modo independente e, depois, apenas comparou suas respostas com a dos colegas, mas argumenta que ao começar a trabalhar em grupos, começou também a aprender a se concentrar e interagir com os colegas, ressaltando que isso ocasionava um fator positivo: conseguiu perceber várias formas de resolver o mesmo problema, em suas palavras "... ver as diferentes formas de ver a mesma coisa e na Física tem muito disso, tu poder resolver uma coisa por vários caminhos...". Em relação ao texto de apoio, comentou que o mesmo o ajudou a ter uma visão geral das Leis de Maxwell e uma melhor noção de quando e como aplicar a Lei de Gauss. Em termos das atividades

exploratórias de simulação, acreditou que as mesmas tenham sido úteis na medida em que pode compreender aspectos que até então não havia conseguido de modo satisfatório, tais como: a natureza do fluxo das linhas de campo através da superfície gaussiana; a questão do ângulo entre o vetor campo elétrico e o vetor área; a associação de um campo magnético a um determinado ponto do espaço e independentemente da forma assumida pelo laço amperiano utilizado para determiná-lo. De modo geral apresentou um bom entendimento teórico das Leis de Gauss e Ampère apresentando apenas dificuldades, a nosso ver, circunstanciais sobre as mesmas.

Tentativa de interpretação dos resultados

Considerando os dados oriundos de provas, entrevistas, resolução de tarefas, trabalhos com atividades computacionais e principalmente de nossas observações participantes, como já mencionamos anteriormente, buscamos inferir regularidades e encontrar indicadores que nos permitissem construir interpretações dos resultados de modo a gerar uma compreensão contextualizada do processo de ensino-aprendizado desenvolvido em nosso estudo. Cabe aqui mencionar que apenas os dados referentes às entrevistas foram apresentados de forma mais detalhada, por acreditarmos que ficaria redundante apresentar também os resultados da resolução de problemas em provas, visto que estes resultados não mostram aspectos que já não estejam sendo explorados nas entrevistas com um grau maior de profundidade. Nossa busca por regularidades partiu de cinco aspectos principais que subjazeram nosso estudo de forma interdependente, a saber: a superação das dificuldades das Leis de Gauss e Ampère; a adoção de um método colaborativo presencial; o uso de atividades exploratórias computacionais; a utilização de um texto de apoio; e a motivação para aprender gerada pelo uso destes elementos de forma inter-relacionada em ambiente de sala de aula.

As atividades exploratórias de simulação parecem ter contribuído para que os alunos compreendessem melhor os fenômenos físicos estudados, principalmente por fornecerem elementos perceptivos que os ajudaram a compreender conceitos como, campo elétrico, campo magnético, laço amperiano e superfície gaussiana. É marcante que todos os alunos, inclusive o que diz ter "pavor do computador" (aluno 1), mencionaram nas entrevistas que a visualização facilitou a aprendizagem. Há alunos (cinco) que enfatizam a importância da interação com o computador e a chance de errar e corrigir o erro como elementos facilitadores da aprendizagem. São termos recorrentes nas entrevistas: interação, mexer, alterar, aumentar, diminuir. Um único aluno (6) considerou que o tempo dedicado às simulações não foi suficiente. Notamos também, que a dificuldade DA2 ("superfície amperiana"), mostrada na Tabela 2, não foi detectada e que, freqüentemente, os alunos falavam em "carga líquida", mas na verdade estavam se referindo à "corrente líquida". Em nossa análise, esta dificuldade não chega a ser conceitual, estando mais relacionada a um erro de linguagem.

Em relação ao texto de apoio, acreditamos que foi um elemento importante para atenuar a visão das Leis de Gauss e Ampère como simples método para resolver problemas com alto grau de simetria, porém as

entrevistas dão margens a pensar que isto passou despercebido pelos alunos. É alvissareiro, no entanto, o fato de que a maior parte dos alunos (oito) se manifestou positivamente em relação ao texto, dizendo que é claro, objetivo, sucinto, de fácil compreensão, levando-nos a crer que um material que abarque todo o conteúdo da disciplina em consonância com as atividades experimentais, escrito com a linguagem empregada e também delineado sob uma perspectiva ausubeliana, pode vir a ter sucesso com os alunos. Para dois dos alunos, o texto não contribuiu para a aprendizagem, pois um sequer se lembrava do que leu e o outro não o fez com atenção.

Quanto ao método colaborativo presencial, observamos que os alunos, com exceção de dois (4 e 10), mostraram-se satisfeitos com a resolução de problemas em pequenos grupos em sala de aula, particularmente porque sentiram-se mais à vontade para a discussão e esclarecimento de dúvidas com os colegas do que com o professor, e pelo fato de poderem ver as aplicações e implicações dos aspectos teóricos logo após terem sido abordados, facilitando o estabelecimento de relações entre o conhecimento novo e os subsunçores adequados, em sua estrutura cognitiva. Até mesmo os alunos 4 e 10, que preferiam trabalhar individualmente, apontaram como aspecto importante da dinâmica da aula a possibilidade de esclarecimento de dúvidas com os colegas e com o professor. Apenas um deles (4) considerou um exagero a quantidade de exercícios resolvidos em aula. Para alguns alunos (3, 7, 9 e 10) foi necessário um período inicial de adaptação ao método, mas mesmo nestes casos o trabalho colaborativo se mostrou bastante produtivo, permitindo-lhes que fossem além do que normalmente iriam, se estivessem trabalhando de forma individual. O professor em seu papel de mediador da interação aluno-computador e aluno-aluno atuou como um parceiro mais capaz que auxilia o aprendiz a explorar a zona de desenvolvimento proximal, conforme apregoado por Vygostky (2003).

Em linhas gerais, a abordagem adotada em nosso estudo contribuiu para uma melhor compreensão das Leis de Gauss e Ampère, embora ainda persistam várias das dificuldades inerentes à aprendizagem destas leis.

Considerações finais

Não conseguimos, e nem esta era a nossa intenção, determinar a importância individual de cada estratégia didática, mas pudemos perceber claramente quão positivo foi para o aprendizado dos conteúdos de Física a possibilidade de interação e de visualização fornecidas pelas simulações, a realização de tarefas avaliadas, realizadas colaborativamente em sala de aula, o uso de um texto de apoio com uma abordagem diferenciada, enfocando a importância física das Leis de Gauss e Ampère. Podemos destacar essa diversidade de estratégias como o ponto-chave dos resultados positivos obtidos.

A questão é que o processo de ensino-aprendizagem é complexo, a dinâmica estabelecida em sala de aula também, e possivelmente não existam soluções "mágicas", ou completamente eficazes. As tecnologias de informação e comunicação devem ser encaradas apenas como, já salientamos, recursos auxiliares, não tendo sentido pensá-las como soluções definitivas ou ainda como substitutas da ação docente. A atividade colaborativa também é um recurso valioso, centrando o ensino no aluno,

mas a mediação do professor continua indispensável. Além disso, é preciso ter sempre em mente que a aprendizagem significativa é progressiva e o que devemos esperar de estratégias de ensino, envolvendo ou não recursos tecnológicos, é que auxiliem neste progresso.

Como perspectiva futura, acreditamos que: a integração de experiências de laboratório, delineadas a partir de uma visão epistemológica contemporânea, com atividades de simulação computacional construídas levando em consideração o sujeito que aprende; o desenvolvimento de textos de apoio com raízes ausubelianas, ou seja, que partam do mais geral, em nosso caso dos aspectos fenomenológicos, e progressivamente vão diferenciando os conceitos, sem nunca perderem de vista os aspectos mais gerais aos quais estes se integram; e também o uso de ferramentas heurísticas que venham a promover uma reflexão sobre as atividades computacionais realizadas; são os elementos mais promissores a serem alinhavados em trabalhos futuros à abordagem didática aqui apresentada, de modo a aumentar significativamente a diversidade de estratégias e alcançar melhores resultados.

Agradecimentos

A Christian & Belloni, criadores dos Physlets, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Brasil), pelo apoio recebido.

Referências bibliográficas

Araujo, I.S. (2005). *Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de física geral*. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Araujo, I.S., Veit, E.A. e M.A. Moreira (2005). Um estudo exploratório sobre o uso de simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss e da Lei de Ampère em nível de Física Geral. *Enseñanza de las Ciencias, número especial*.

Belloni, M. e W. Christian (2004). Chapter 9: Electromagnetism and optics physlet-based curriculum. Acesso em 04 maio de 2004, http://webphysics.davidson.edu/physletprob/ch9_problems/default.html

Christian, W. e M. Belloni (2001). *Physlets: Teaching physics with interactive curricular material*. New Jersey: Prentice Hall.

Cox, A.J., Belloni, M. e W. Christian (2005). Teaching physics with physlet®-based ranking task exercises. *The Physics Teacher*, 43, 587-592.

Goldman, C., Lopes, E. e M.R. Robilotta (1981). Um pouco de luz na Lei de Gauss. *Revista de Ensino de Física*, 3, 3-15.

Guisasola, J., Almundí, J.M. e J.L. Zubimendi (2003). Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 21, 79-94.

Halliday, D., Resnick, R. e J. Walker (2003). *Fundamentos de Física* (6. ed. Vol. 3). Rio de Janeiro: LTC.

Jonassen, D.H., Carr, C. e H.P. Yueh (2005). Computers as mindtools for engaging learners in critical thinking. Acesso em 10 de junho de 2005, <http://tiger.coe.missouri.edu/~jonassen/Mindtools.pdf>.

Krapas, S., Alves, F. e L.R. Carvalho (2000). Modelos mentais e a Lei de Gauss. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5, 7-21.

Krey, I. (2000). *Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de Física Geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird*. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Moreira, M.A. (2006). *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: editora da UnB.

Moreira, M.A. e I. Krey (2006). Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28, 353-360.

Massons, J., Camps, J., Cabré, R., Ruiz, X. e F. Díaz (1993). Electrostática y EAO: Una experiencia de simulación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 179-183.

Moreira, M.A. (1977). *An ausubelian approach to physics instruction*. Unpublished PhD in Science Education, Cornell University, Ithaca.

Moreira, M.A. (1999). *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: E.P.U.

Moreira, M.A. e A.O. Pinto (2003). Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Ampère, à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25, 317-325.

Pinto, A.O. (2000). *Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Ampère em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird*. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Viennot, L. e S. Rainson (1992). Student's reasoning about the superposition of electric fields. *International Journal of Science Education*, 14, 475-487.

Vygotsky, L.S. (2003). *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.

Apêndice A (Guia de atividades)

Neste apêndice apresentamos dois exemplos de atividades desenvolvidas com os alunos. Estas atividades são criações de Christian & Belloni (2001) e foram adaptadas e traduzidas para o português, com permissão dos autores.

1) Lei de Gauss: O gráfico de barras mostra o fluxo, Φ , através de quatro superfícies gaussianas: verde, vermelha, laranja e azul (a posição é dada em metros, a intensidade do campo elétrico em newton/coulomb, e o fluxo é dado em $N.m^2/C$). Note que esta animação mostra somente duas dimensões de um mundo tridimensional. Você precisará imaginar que os círculos que você vê são esferas e que os quadrados são na verdade cubos.

- Comece movendo a superfície gaussiana verde. Qual é o fluxo quando a carga pontual está no interior da região limitada pela superfície?
- Qual é o fluxo quando a carga pontual não está dentro da região limitada pela superfície? E sobre a superfície vermelha?
- Como o fluxo é a intensidade do campo elétrico vezes a área da superfície, por que o tamanho da superfície não importa?

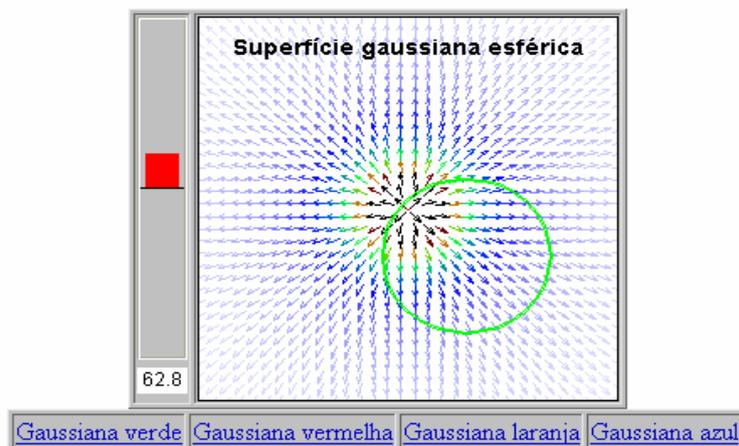


Figura A1.- Tela ilustrativa da simulação 1.

- Quando a carga não estiver dentro da superfície gaussiana o que acontece com o fluxo do campo elétrico? Por quê?
- O formato da superfície gaussiana altera o valor do fluxo?
- Mova a superfície gaussiana para um ponto onde o fluxo seja zero. O campo elétrico também é zero? Se o campo elétrico não é zero, por que o fluxo é zero?
- O que acontece quando a superfície azul circunda apenas uma carga? O que acontece quando ela envolve ambas as cargas?

2) Lei de Ampère: Na simulação computacional, os quatro círculos coloridos representam fios metálicos conduzindo corrente para "dentro" ou para "fora" da tela do computador (a posição é dada em mm e a intensidade do campo magnético em mT). Ative a integral (o cursor se transformará em um lápis) e desenhe o caminho fechado para o qual será calculada a integral do campo magnético na direção do percurso adotado ($\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$). Você pode zerar a integral em qualquer ponto que desejar, "desligar" a integral e mover o cursor para outro ponto para recomençar. Para voltar à configuração inicial clique em "Reiniciar". Dado: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A.

- Encontre a intensidade e o sentido das correntes conduzidas por cada um dos quatro fios na animação.
- Envolva dois ou mais fios em um caminho fechado qualquer (laço amperiano), traçando no sentido horário. Haverá alguma diferença se você refizer o mesmo caminho, mas com o sentido anti-horário? Por quê?
- Envolva os fios rosa e amarelo com um laço amperiano. O que podemos afirmar sobre a corrente que conduzem? E sobre o campo magnético sobre o laço amperiano?

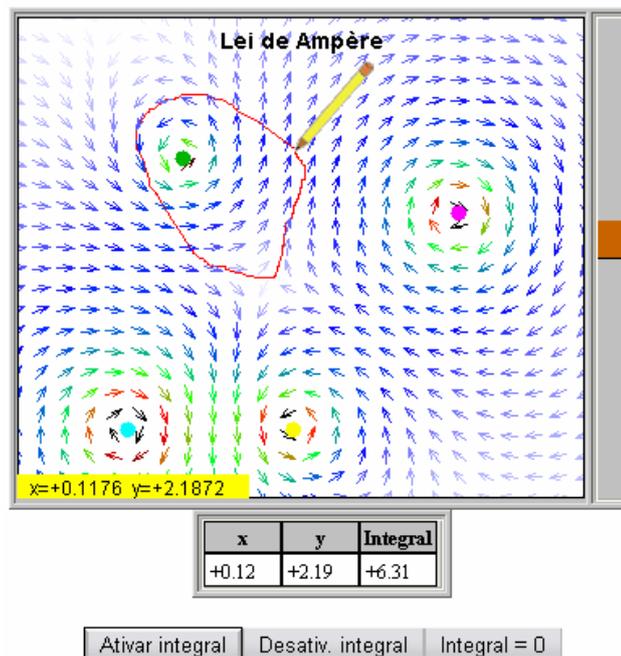


Figura A2.- Tela ilustrativa da simulação 2.

Apêndice B (Entrevistas)

Entrevista 1

EG1) Fale tudo que você sabe sobre a Lei de Gauss, interprete-a fisicamente, exemplificando sua explicação. Discuta seus conceitos principais, fazendo uso de desenhos e diagramas, se necessário.

EG2) Imagine uma linha infinita carregada positivamente com densidade linear de cargas constante e que:

a) seja traçada uma superfície gaussiana de formato cilíndrico acima desta linha, não envolvendo cargas. Quem gera o campo elétrico num ponto a sobre a superfície gaussiana (Figura B1a)?

b) seja traçada uma superfície gaussiana de formato cilíndrico centrada e com eixo coincidente com esta linha, envolvendo uma certa quantidade de cargas. Quem gera o campo elétrico num ponto a sobre a superfície gaussiana (Figura B1b)?

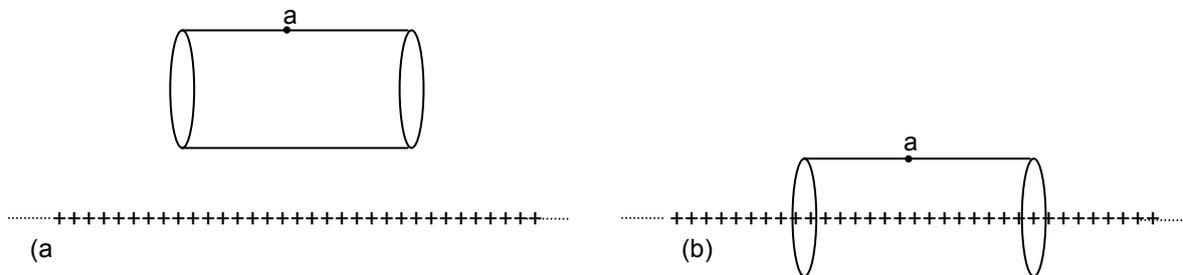


Figura B1.- Uma linha infinita de cargas e uma superfície gaussiana cilíndrica posicionada: (a) acima das linhas de carga e (b) centrada nesta linha.

EG3) Imagine um dipolo elétrico. O que podemos dizer sobre:

a) o fluxo elétrico através da superfície gaussiana de formato arbitrário (Figura B2)?

b) o campo elétrico num ponto a na superfície gaussiana?

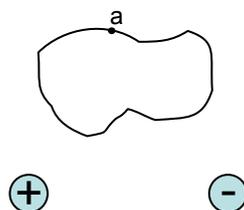


Figura B2.- Dipolo elétrico e uma superfície gaussiana arbitrária.

EG4) a) Qual o critério que você utiliza para escolher o formato e onde posicionar a superfície gaussiana? b) É o fluxo de que, que atravessa a superfície gaussiana?

EG5) Considere uma camada esférica não-condutora com raio interno a e raio externo b e densidade volumétrica de cargas constante na região

compreendida entre a e b , conforme mostra a Figura B3. Descreva de maneira geral, qual seria o procedimento, utilizando a Lei de Gauss para determinar o campo elétrico em termos da carga líquida envolvida por uma superfície gaussiana, onde r é a distância entre o centro da casca e o ponto onde você quer determinar o campo elétrico, para os seguintes casos:

- a) $r \leq a$
- b) $a < r < b$
- c) $r \geq b$

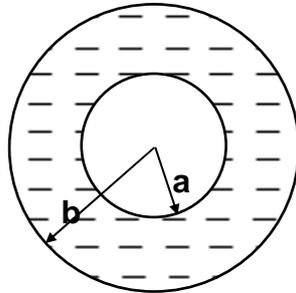


Figura B3.- Casca esférica não-condutora carregada, de raio interno a e externo b .

EG6) (a) A Lei de Gauss é válida para achar o campo elétrico num ponto próximo a um dipolo elétrico? Ela pode ser aplicada diretamente para este fim?

EG7) Comente sobre o que você acha do modo como as aulas vêm sendo ministradas.

EG8) Comente sobre as atividades de simulação utilizadas nas aulas sobre a Lei de Gauss, em termos de auxílio ao seu aprendizado.

EG9) Comente sobre a dinâmica das aulas (tarefas realizadas em grupo durante o período de aula), em termos de auxílio ao seu aprendizado.

EG10) Comente sobre o texto de apoio enfocando a Lei de Gauss.

Entrevista 2

EA1) Escreva a Lei de Ampère na sua forma integral, interprete-a fisicamente e fale sobre ela, isto é, diga tudo o que puder sobre essa lei. Exemplifique sua explicação, discuta o seu significado físico, faça uso de desenhos ou diagramas se necessário.

EA2) Considere um sistema formado por dois fios retos, "infinitamente longos" conduzindo as correntes elétricas i_1 e i_2 , respectivamente. Os fios estão separados entre si por uma distância " d ", conforme mostra a Figura B4. Um estudante afirma que podemos aplicar a Lei de Ampère para determinar o campo magnético resultante no ponto "A", sobre um percurso fechado de integração circular de raio " R ", centrado e envolvendo apenas o fio 1. Deste modo o campo magnético resultante em "A" é dado pela expressão $B_A = \frac{\mu_0}{2\pi R} i_1$. Você concorda com este estudante? Justifique sua resposta.

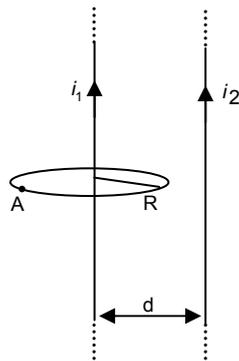


Figura B4.- Dois fios retos, infinitos, paralelos, separados por uma distância "d" e conduzindo correntes elétricas constantes no mesmo sentido.

EA3) A Figura B5 mostra a seção transversal de três fios retos longos conduzindo corrente com mesma intensidade, onde i_1 e i_2 conduzem corrente elétrica "saindo" e i_3 "entrando" no plano da página, para três diferentes laços amperianos e um ponto genérico "A" sobre cada um deles. O que pode ser dito sobre o campo magnético resultante no ponto "A", para cada situação apresentada?

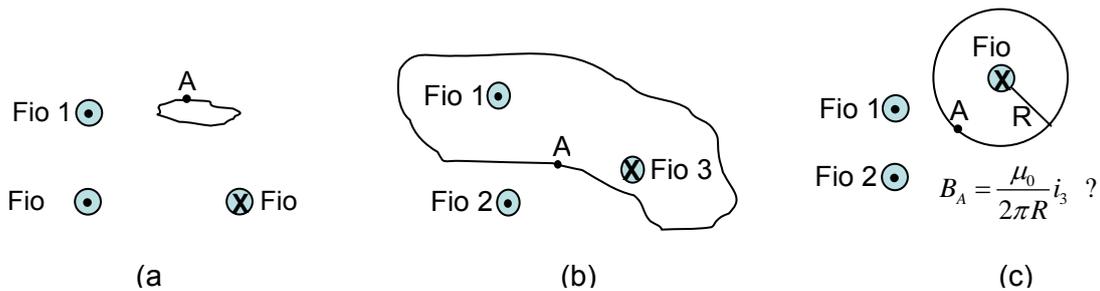


Figura B5.- Seção transversal de três fios retos longos conduzindo corrente e um laço amperiano: (a) não envolvendo os fios; (b) envolvendo os fios 1 e 3; c) envolvendo apenas o fio 3, sendo mostrada a expressão para o campo magnético resultante num ponto "A" a uma distância "R" deste fio.

EA4) Considere um solenóide infinito no qual circula uma corrente elétrica i . Como sabes, se pode calcular o campo magnético no interior do solenóide utilizando a Lei de Ampère, empregando uma curva de integração como mostra a Figura B6. (a) Quem gera o campo magnético resultante no ponto "A". (b) A corrente elétrica envolvida pelo laço amperiano é igual a i ?

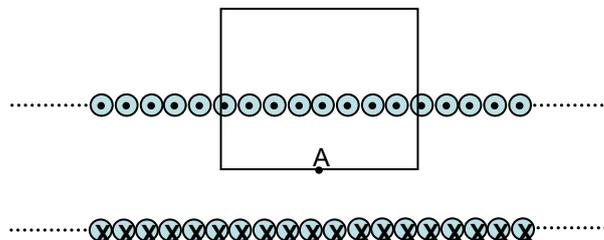


Figura B6.- Vista em corte de um solenóide ideal infinito, com uma região envolta por uma curva de integração retangular.

EA5) Poderíamos aplicar a Lei de Ampère para calcular o campo magnético resultante no ponto "A", próximo a um fio reto longo conduzindo corrente com intensidade constante (Figura B7), mas que alterna o seu sentido com o tempo, e obter a expressão $B_A = \frac{\mu_0}{2\pi R} i$?

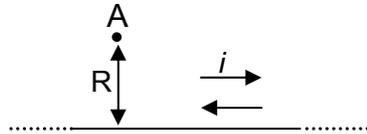


Figura B7.- Fio reto longo conduzindo corrente variável.

EA6) Comente sobre as atividades exploratórias de simulação utilizadas nas aulas sobre a Lei de Ampère, em termos de auxílio ao seu aprendizado.

EA7) Comente sobre a seção do texto de apoio que abordou a Lei de Ampère.

Apêndice C (Síntese de duas entrevistas)

ALUNO 7	
Lei de Gauss – Entrevista 1	
Questões	Fragmentos de respostas
EG1	<p>Aluno 7: Bom, carga gera campo, isso ficou claro e monopolos não existem.</p> <p>Entrev.: Monopolos?</p> <p>Aluno 7: Sim, não existem monopolos magnéticos.</p> <p>Entrev.: Do que trata a Lei de Gauss?</p> <p>Aluno 7: Bem, a Lei de Gauss diz que o campo elétrico vezes a área é igual ao fluxo.</p> <p>Entrev.: Que fluxo?</p> <p>Aluno 7: Fluxo das linhas de campo através de uma superfície gaussiana.</p> <p>Entrev.: O que é uma superfície gaussiana?</p> <p>Aluno 7: Uma superfície imaginária onde ela facilita o cálculo do fluxo.</p> <p>Entrev.: Quando a Lei de Gauss é válida?</p> <p>Aluno 7: Não sei dizer.</p> <p>Entrev.: O que é carga líquida?</p> <p>Aluno 7: Carga líquida seria a carga que está dentro da superfície gaussiana. Se tiver uma positiva e uma negativa elas se anulam e acaba sendo zero, se tiverem valores iguais.</p> <p>Entrev.: Quando podemos aplicar a Lei de Gauss?</p> <p>Aluno 7: Eu acho que quase sempre. Se tiver uma Lei mais simples fica mais fácil, como a Lei de Ohm, por exemplo, mas acho que a Lei de Gauss é válida sempre, até para superfícies irregulares, mas acaba complicando o cálculo.</p>
EG2	<p>a) O campo seria devido a todo fio e seria o mesmo para cá, para cá e para cá [marca três pontos colineares ao ponto "a" sobre a superfície gaussiana cilíndrica] e não seria zero.</p> <p>b) Todas as cargas, o campo é influenciado por todas as cargas do fio.</p>
EG3	<p>Vai ser zero, pois a carga líquida é zero dentro da superfície gaussiana [Silêncio] (...) não vai ser zero não, agora que eu tracei a linha eu vi que o fluxo é que vai ser zero, porque uma linha que está entrando também está saindo e não possui carga líquida dentro. Me confundi no início com o campo elétrico e o fluxo.</p>
EG4	<p>a) Eu escolho devido às linhas de campo de modo que elas sejam perpendiculares à área e constante "E" [módulo do campo elétrico] em toda a superfície, ou seja, escolheria a superfície que facilitaria melhor os cálculos.</p> <p>b) Fluxo de linhas de campo.</p>
EG5	<p>a) Bom, primeiro eu traçaria uma superfície gaussiana até o raio "a" e o campo aqui dentro seria zero.</p> <p>b) Traçaria agora uma superfície de "a" até "b", pois à medida que o raio aumenta a superfície aumenta e teria que levar em conta o volume de "b", menos o volume de "a", seria uma integral de volume de "a" até "b". À medida que vai aumentando o raio indo de "a" até "b", a carga líquida vai aumentando.</p> <p>c) Aqui fora a carga líquida não teria aumento como antes ["a < r < b"] a carga líquida dentro da superfície seria sempre a mesma aumentando o raio depois de "b"</p>

EG6	<i>Depende, se é um dipolo com o mesmo valor para as cargas e traçar uma superfície na volta das duas não é muito aconselhável, mas dá, apesar de ser difícil de saber quanto vale o campo nela [superfície gaussiana].</i>
EG7	<i>Eu acho que a dinâmica da aula está muito boa. Como eu tô repetindo eu via que antes era só muito cálculo e agora eu tô vendo a parte teórica bem melhor.</i>
EG8	<i>Acho que as atividades deram uma maior dinâmica na parte de visualizar assim os desenhos, esse tipo de coisa, e te dá uma base melhor geralmente. Me ajudou a compreender melhor (...) ver que o campo diminui quando tu te afasta das cargas. E acho que se tivesse mais tempo para fazer esse tipo de atividade mais vezes seria melhor.</i>
EG9	<i>Eu acho que é bom se todos participam. Teve uma ou duas tarefas que eu fiz e fiquei só calculando então nem prestei muita atenção e agora fui ver e fazer o exercício de novo e vi que deveria ter prestado atenção. No geral acho que está valendo, porque um ajuda o outro no sentido que quando um trava em alguma questão algum valor ali o outro vem e ajuda e todo mundo tem que começar a fazer e é muito bom fazer os exercícios em aula, porque em casa a maioria [dos problemas] eu não faria, não acharia tempo pra sentar e estudar e ali na aula pelo menos eu me obrigo a fazer os exercícios.</i>
EG10	<i>Achei bom, mas pelo que tu me perguntou eu vi que eu tô meio esquecido. Acho que ficou claro, ele explicava tudo direitinho era um texto que quando tu lê tu te atina ali, das manhas e tudo.</i>
Lei de Ampère – Entrevista 2	
Questões	Fragmentos de respostas
EA1	Aluno 7: <i>A Lei de Ampère vale quando a corrente é constante, o laço amperiano também é imaginário, mas não é uma superfície é um laço apenas, até poderia dizer uma dimensão, não sei. E a Lei serve para ti achar o campo, daí aquela expressão com a integral "B.ds" é para ti achar a circulação que o laço faz em volta do fio, então no caso, com essa fórmula tu pode achar o campo. Quando a corrente não for constante usa-se a Lei de Ampère-Maxwell e esse laço pode ser usado em solenóides, toróides e num fio reto longo e comprido.</i> Entrev.: Qual o significado físico desta lei? Aluno 7: <i>Que ela serve para determinar o campo, não saberia dizer agora bonitinho tudo. Acho que ela determina o fluxo de um campo elétrico constante.</i>
EA2	<i>Sim, poderia usar direto a Lei de Ampère. E a carga líquida, seria, carga líquida não, corrente líquida. Seria só a do fio dentro do laço.</i>
EA3	a) <i>Que o campo magnético no ponto "A" é diferente de zero, porque ele sofre influência de todos os fios. A corrente líquida é zero, mas isso não quer dizer que o campo também vai ser. Se tu desenhares as linhas de campo aqui tu vai ver que todos os fios estão influenciando.</i>
	b) <i>A corrente líquida é zero, mas o campo não é necessariamente zero.</i> Aluno 7: <i>Bem, o campo nesse ponto "A" está sendo influenciado pelos outros também, mas acho que a expressão vai dar o campo neste ponto sim.</i> Entrev.: Na expressão matemática da Lei de Ampère, o campo magnético é devido a quem? Aluno 7: <i>A corrente líquida que está dentro do laço.</i>

EA4	<p>a) <i>Todo o fio, a corrente de todo o fio, mesmo as que estão fora do laço.</i></p> <p>b) <i>Não, não é igual ao "i", ele vai depender do número de voltas que passam pelo laço.</i></p>
EA5	<p><i>Acho que não, porque a corrente tem que ser constante. A corrente tem que ter o mesmo sentido, senão o campo vai ficar variando.</i></p>
EA6	<p><i>Ali te dá uma visão melhor, não chega a te dar uma visão, digamos física, mas te dá uma noção melhor do que está acontecendo, não ficando só nos desenhinhos do quadro. Tu tens como ver, quase que fisicamente, os valores que tu tens quando botas os pontos em cima do laço, ou dentro do laço, valores de campo, ver o que acontece quando o raio vai aumentando. Elas me ajudaram bastante em ter uma melhor visualização do que está ocorrendo mesmo e, enfim, dos valores até. Na atividade do lápis [Atividade 2 – Apêndice B] deu para ver que traçando um laço, por mais "gigante" que possa ser, se ele pegar só uma corrente, um fio só ele vai dar sempre o mesmo valor ali do que se tu pegasses um laçinho pequenininho em volta dele, vai ter sempre o mesmo valor de circulação. As atividades ajudam a ter um maior conhecimento da matéria, não fica tão limitado. Não sei se muita gente consegue imaginar ali, o que está acontecendo. Eu não conseguiria e consegui ver muito melhor.</i></p>
EA7	<p><i>Achei o texto bastante claro. Foi nele que eu vi e sublinhei muito bem ali, que a corrente não varia para a Lei de Ampère, que a Lei de Ampère só pode ser usada para corrente constante. Está bem explicadinho.</i></p>

Tabela C1.- Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e de Ampère com o Aluno 7.