

Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias en debate

Volumen 3

Investigación e innovación en
Educación Científica

Competencias comunicativas en Ciencias

Gestión y evaluación de proyectos
educativos

Beatriz Macedo
Sara Silveira
Margarita García Astete
Daniel Meziat
Luis Bengochea
(Editores)

OBRAS COLECTIVAS
CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN 27

UAH

Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias en Debate

Volumen 3

Investigación e innovación en Educación Científica
Competencias comunicativas en Ciencias
Gestión y evaluación de proyectos educativos

Beatriz Macedo
Sara Silveira
Daniel Meziat
Margarita García Astete
Luis Bengochea
(Editores)

Obras Colectivas de Ciencias de la Educación 27



Universidad
de Alcalá



Consejo de
Formación en
Educación

Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias en Debate

Volumen 2

**Investigación e innovación en Educación Científica
Competencias comunicativas en Ciencias
Gestión y evaluación de proyectos educativos**

Actas del X Congreso Iberoamericano de
Educación Científica
(CIEDUC 2019)

**Palacio Municipal de Intendencia
Montevideo (Uruguay)
25 al 29 de marzo de 2019**

Editores:

Beatriz Macedo (*Consejo de Formación en Educación - Uruguay*)

Sara Silveira (*Consejo de Formación en Educación - Uruguay*)

Daniel Meziat (*Universidad de Alcalá - España*)

Margarita García Astete (*Cátedra EDUCALYC – Chile*)

Luis Bengochea (*Universidad de Alcalá – España*)



El libro “Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias en Debate” en el que se recogen las Actas del X Congreso Iberoamericano de Educación Científica, consta de cuatro volúmenes y ha sido editado por Beatriz Macedo, Sara Silveira, Daniel Meziat, Margarita García Astete y Luis Bengochea.

Se publica bajo licencia *Creative Commons* 3.0 de reconocimiento – no comercial – compartir bajo la misma licencia.

Se permite su copia, distribución y comunicación pública, siempre que se mantenga el reconocimiento de la obra y no se haga uso comercial de ella. Si se transforma o genera una obra derivada, sólo se puede distribuir con licencia idéntica a ésta. Alguna de estas condiciones puede no aplicarse, si se obtiene el permiso de los titulares de los derechos de autor.

Universidad de Alcalá
Servicio de Publicaciones
Plaza de San Diego, s/n
28801 - Alcalá de Henares (España)
www.uah.es

ISBN Obra completa: 978-84-17729-78-3

ISBN Volumen 3: 978-84-17729-81-3

Diseño de la portada: Pablo Márquez. Departamento de Comunicación
Consejo de Formación en Educación – ANEP
Uruguay

Impreso en España y Uruguay

Los contenidos de esta obra son responsabilidad exclusiva de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión oficial del Consejo de Formación en Educación, la Universidad de Alcalá ni de ninguna de las instituciones que han colaborado en la organización del Congreso.

Simulação Da Interação Entre Partículas E Campos Eletromagnéticos

Alencar Teixeira dos Santos¹; Jorge Rodolfo Silva Zabadal²; Ederson Staudt²

Programa de Pós-Graduação – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF

¹Colégio Estadual 12 de Maio e Centro Sinodal de Ensino Médio Dorothea Schäke

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Rodovia RS 030, 11.700 – km 92 – Tramandaí - RS

alencarteixeira2009@hotmail.com; jorge.zabadal@ufrgs.br;
ederson.staudt@ufrgs.br;

Resumo. Este trabalho apresenta novos pacotes computacionais concebidos para introduzir um conceito fundamental em eletromagnetismo: a interação entre partículas e campos. O esquema proposto descreve duas classes básicas de cenários físicos. Na primeira, a contribuição da partícula para o potencial total de interação é considerada desprezível em relação à contribuição devida ao campo externo. Essa abordagem corresponde à definição clássica de “partícula de teste”, que não perturba campos externos. A principal aplicação oriunda dessa abordagem preliminar consiste em estimar trajetórias percorridas por partículas carregadas ao longo de regiões nas quais atua um potencial Coulombiano. Na segunda classe de cenários, que abrange o efeito Meissner-Ochsenfeld e a interação radiação-matéria, a contribuição do campo produzido pela partícula predomina sobre o campo externo.

Palavras-chave: Física moderna e contemporânea, Potencial de Calibre, Partículas e Campos eletromagnéticos.

1. Introdução

Atualmente o ensino de alguns tópicos específicos de Física, em particular os de Física Moderna, tem se mostrado contraintuitivos para os estudantes de um modo geral e, principalmente para os do ensino médio, ainda que existam recursos didáticos com grande potencial de aplicação em sala de aula.

Apesar da preocupação em tornar o ensino mais concreto, procurando também vincular ciência e tecnologia, a situação se torna especialmente preocupante no ensino de temas relacionados ao Eletromagnetismo e à Química. Isto ocorre porque é necessário desenvolver uma intuição geométrica razoável para que se torne realmente possível compreender a dinâmica subjacente a qualquer processo envolvendo interações eletromagnéticas. Essa intuição poderia, a princípio, ser adquirida através do uso de sistemas de simulação que permitissem ao aluno visualizar os eventos relacionados à interação da radiação com a matéria. Infelizmente, para diversos problemas dessa natureza, o tempo de processamento requerido para a simulação de cenários físicos realistas é virtualmente proibitivo. Isto ocorre porque os métodos numéricos hoje utilizados, para efetuar a simulação de cenários físicos envolvendo interações entre partículas e campos são bastante limitados no que diz respeito ao desempenho computacional [1] e [2]. Mais especificamente, a produção de uma única animação que mostra a trajetória de uma partícula ao longo de um campo eletromagnético pode exigir muitas horas de processamento, o que pode inviabilizar o emprego de sistemas de simulação em aulas expositivas.

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de alto desempenho computacional [6], capaz de produzir grande quantidade de material didático para o aluno do ensino médio interessado em adquirir intuição geométrica a respeito das interações entre campos e partículas carregadas. Além disso, as rotinas computacionais pertencentes ao produto educacional servem para o professor como material instrucional capaz de alicerçar seu ensino em uma perspectiva teórica bem fundamentada. O material é constituído basicamente de guias de atividades que contém as imagens obtidas através de simulações, efetuadas empregando o *software* de processamento simbólico MAPLE, e também das próprias simulações que o programa possibilita realizar. Além disso, o produto educacional possui um horizonte de aplicações interdisciplinar entre química e física, especialmente no que diz respeito a interação radiação-matéria. O sistema é capaz de simular o efeito da incidência de radiação sobre estados ligados, estabelecendo a base física para os processos de catálise. Em outras palavras, a partir da incidência de determinado espectro de radiação, torna-se possível catalisar reações, rompendo ligações já existentes para formar novas ligas.

Os cenários físicos a analisar, para a geração de imagens e animações, se enquadram em três classes específicas, que propiciam ao aluno a oportunidade de interpretar os eventos correspondentes de forma progressivamente mais profunda, sem exigir conhecimento prévio sobre tópicos envolvendo análise vetorial e equações diferenciais.

Na primeira classe a partícula é considerada puntual, isto é, seu campo local não interfere no campo externo. Nesse caso, o sistema possibilita verificar como essa partícula se desloca ao longo do campo externo e as trajetórias das partículas puntuais, colocadas em repouso nesse campo.

A segunda classe de cenários descreve um par de elétrons emparelhados (de *spins* opostos, denominado “par de Cooper”) imerso em um campo magnético muito fraco, a temperaturas próximas do zero absoluto. Esse

sistema se comporta como um fluido invíscido escoando em torno de um obstáculo cilíndrico, que expulsa as linhas de escoamento. Esse fenômeno de expulsão das linhas de fluxo, é denominado Efeito Meissner-Ochsenfeld, ou simplesmente efeito Meissner. Existe ainda uma terceira classe de cenários, que foi explorada de maneira preliminar nesse trabalho. Nesses cenários, partículas não pontuais perturbam consideravelmente os campos externos, produzindo trajetórias que são reorientadas a cada passo percorrido.

2. Referencial Teórico

2.1. Teoria De David Paul Ausubel

Na teoria de Ausubel, conhecida como Teoria da Aprendizagem Significativa, um fator de extrema relevância para a aprendizagem significativa é a predisposição para aprender, o esforço deliberado, cognitivo e afetivo, para relacionar de maneira não arbitrária e não literal os novos conhecimentos à estrutura cognitiva [3].

Além disso, os materiais usados em sala de aula devem ser potencialmente significativos [3]. Tais materiais devem agrupar-se no âmbito mental do indivíduo, para que a nova informação possa ser apropriadamente manipulada e assimilada do ponto de vista científico.

Adicionalmente, devem ser consideradas as informações já presentes na estrutura cognitiva do aluno, para as quais Ausubel dá o nome de *subsunçores*, conceitos básicos onde a nova informação pode “se ancorar” [4].

2.2. Teoria De Allan Urho Paivio

A teoria de Paivio [5] é conhecida como Teoria da Dupla Codificação (TDC) porque trata do uso de imagens e de palavras que estabelecem uma conexão entre dois sistemas distintos de representação, a saber, o verbal (palavras) e o não verbal (imagens), destaca-se o uso da imagem como reforço para a assimilação do conceito de campo e trajetórias de partículas.

A TDC, sugere que a informação visual e verbal atua como dois sistemas distintos. Ela revela que as representações verbais e as não verbais estão diretamente interligadas, de modo a nos permitir criar imagens quando ouvimos determinadas palavras e gerar conceitos e descrições verbais quando visualizamos imagens. Sob essa perspectiva, quando se pensa em aprendizagem, passa-se necessariamente pela memória, e a associação de palavras e imagens parece apontar para um horizonte promissor, uma vez que, segundo a TDC, essa união pode ser capaz de ativar mecanismos específicos ligados à nossa memória, como o *logogen* (palavra e o seu sentido/significado), e o *imagen* (imagens visuais e informações de outras modalidades, como sons), união envolvendo a atividade cooperativa de dois sistemas que funcionam de forma independente, mas mantém ligações [5].

3. Metodologia

A ideia básica que orienta a elaboração do material didático consiste em implementar os mecanismos de aprendizado e reforço, concebidos por Allan Paivio, em um sistema de processamento simbólico. Essa estratégia de ensino se enquadra também na concepção de David Paul Ausubel, por produzir um sistema que estabelece uma relação do novo conteúdo com o conhecimento prévio que o sujeito traz consigo. Esse processo de ancoragem consiste no uso de analogias entre os campos gravitacional e eletromagnético, que induz imediatamente a associar os conceitos de carga elétrica e massa. Essa estratégia, está alicerçada na ideia de estabelecer subsunçores capazes de serem acionados em estudos de outras áreas, como a química, por exemplo.

No que diz respeito ao desempenho computacional, o método utilizado para a resolução das equações de Maxwell é totalmente analítico. Por não envolver etapas numéricas, produz um código fonte bastante simples, compacto e de fácil depuração. Além disso, o tempo de processamento requerido para a obtenção das soluções, bem como de figuras e animações, é virtualmente desprezível (da ordem de 20 segundos). Ambas as características são de fundamental importância para introduzir, no ensino médio, temas complexos de forma acessível em tempo hábil. Nesta esteira de raciocínio o trabalho, como um todo, também adquire a forma de uma sequência didática potencialmente significativa e consistente que pode ser utilizada pelo próprio professor para o seu aprofundamento no assunto, permitindo que sua qualificação se torne um processo continuado e permanente.

Em resumo, o foco principal do trabalho reside em produzir um material didático que permita ao aluno do ensino médio adquirir intuição geométrica a respeito das interações entre campos e partículas eletricamente carregadas, com objetivo final de efetuar de fato a aprendizagem significativa. Além disso, o trabalho contém material inovador para o professor que pretende ministrar aulas de forma interdisciplinar, introduzindo tópicos de física contemporânea através de analogias com temas clássicos. O material é constituído basicamente de imagens obtidas através de simulações, efetuadas empregando o *software* de processamento simbólico MAPLE.

Os cenários físicos a analisar se enquadram em três classes específicas. A primeira classe aborda eventos nos quais a intensidade do campo produzido pela partícula é praticamente desprezível em relação à do campo envoltório. Neste caso, a partícula deforma apenas fracamente e localmente o campo na qual se encontra. Já a segunda classe de eventos aborda um cenário específico no qual a intensidade do campo envoltório é desprezível em relação ao produzido pela partícula. Isto ocorre a baixíssimas temperaturas quando, por exemplo, um par de elétrons emparelhados (de *spins* opostos) se encontra imerso em um tênue campo magnético. Essa partícula composta, denominada “par de Cooper”, deforma de tal maneira o campo envoltório, que parece expulsar as respectivas linhas de fluxo. Esse fenômeno é denominado efeito Meissner-Ochsenfeld, que consiste na expulsão total ou parcial de um campo magnético externo por partículas eletricamente carregadas a baixas temperaturas.

Entretanto, quando se trata de analisar cenários concretos em Física, não basta apenas formar imagens mentais de maneira arbitrária e indiscriminada. Existem leis de conservação e equações dinâmicas que devem ser respeitadas, para que o aluno absorva imagens realistas sobre os processos naturais. Neste caso, existe um preço relativamente alto a pagar, quando se deseja estimular a criatividade do estudante, preservando seu bom senso e amplificando sua capacidade de indução. Os sistemas de simulação realmente confiáveis, isto é, aqueles que produzem soluções exatas para as equações dinâmicas, ou mesmo boas aproximações (tanto numéricas quanto analíticas), em geral demandam elevado tempo de processamento para produzir resultados. Assim, para gerar rapidamente um número suficientemente elevado de imagens confiáveis, para estimular o aluno a efetuar associações fundamentais entre os sistemas verbal e não verbal, é preciso reformular radicalmente os programas de simulação. Essa reformulação visa transformá-los em sistemas de alto desempenho computacional.

Esse sistema fornece diversas imagens e animações em um curto intervalo de tempo, que esclarecem um ponto ainda obscuro e controverso no eletromagnetismo e na química: o papel do potencial de calibre na catálise de processos reativos.

Na prática, sistemas dessa natureza possuem duas características cruciais: baixo tempo de processamento e código fonte bastante compacto. Essas características revelam sua importância, tanto na fase de implementação quanto na aplicação por parte do educador. Na fase de implementação, a facilidade de depuração decorrente da pequena extensão do código fonte permite a elaboração de sistemas bastante complexos em um curto período de tempo. Quanto à fase de aplicação, o tempo de processamento reduzido permite que sejam efetuadas simulações de vários cenários físicos em um único período de aula.

3.1. Aplicação do Produto Educacional

Parte-se de uma abordagem lembrando o campo gravitacional e suas características para o reforço ou mesmo construção dos subsunçores necessários para o estabelecimento de uma relação significativa com o conceito de campo eletromagnético. Isso pode ser acompanhado nas figuras 1 e 2, onde as cores representam, por convenção, os pontos de maior e menor potencial do campo. Tais cenários foram obtidos por meio das equações de Maxwell, a partir do Operador Laplaciano expresso em termos de variáveis complexas, em duas dimensões, que fica descrito da seguinte forma:

$$\nabla^2 F = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = 4 \frac{\partial^2 F}{\partial r \partial s} \quad (1)$$

Isto significa que a equação de Poisson pode ser resolvida por integração direta nas variáveis r e s , razão pela qual o tempo de processamento requerido para a obtenção de soluções exatas resulta bastante reduzido.

Com soluções exatas em mãos foi possível simular os cenários como previsto acima.

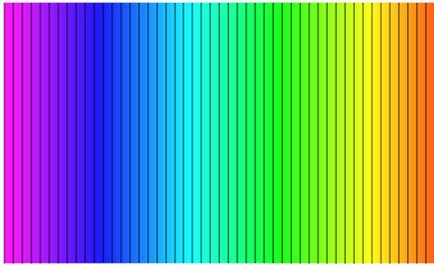


Fig. 1. Vista superior das linhas do campo potencial de Maxwell [6].

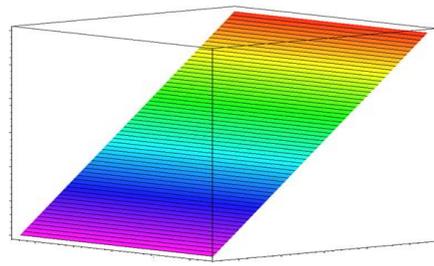


Fig. 2. Vista lateral do potencial de Maxwell, mostrando o maior e menor potencial [6].

Apresentam-se agora algumas atividades desenvolvidas com os alunos, que serviram ao mesmo tempo para o ensino dos conceitos e avaliação da aprendizagem, com o uso intenso tanto das imagens, animações obtidas por meio do uso do *software* Maple, sendo que este último permite a visualização em três dimensões.

Atividades De Exercício 01

1. A partir da fig.1 é possível determinar em que ponto temos o maior potencial de Maxwell? Justifique.
2. (a) Com base na fig.2 fica evidenciado o ponto de maior potencial de Maxwell. Qual é esse ponto? (b) Retornando a fig.1, podemos destacar a cor representativa de maior potencial e a de menor potencial. Quais são essas cores?
3. Sobre uma mesma isolinha de campo potencial, no caso do potencial de Maxwell, existe alguma diferença no valor do potencial, caso o objeto estiver mais à direita ou mais à esquerda? Justifique sua resposta baseado na fig.2 e faça uma analogia com o potencial gravitacional, ou seja, imagine uma esfera sendo abandonada de uma determinada altura sobre uma rampa rígida.

Atividades De Exercício 04

1. A partir da fig.3 determine a trajetória da partícula, sabendo que ela penetra nesse campo eletromagnético com velocidade \vec{v} , conforme as características de cada item. Comente sobre o sentido que a partícula adquire.

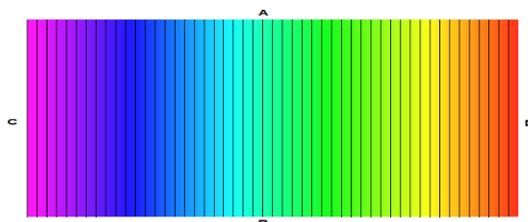
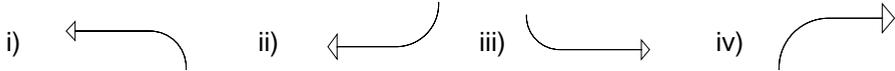


Fig. 3. Visualização superior do campo potencial de Maxwell [6].

- a) Paralela as isolinhas de campo (ou seja, 0°) - do ponto B para o ponto A e com a partícula **carregada positivamente**: (marque a alternativa que melhor representa a trajetória da partícula)



Justificativa do sentido do movimento da partícula:

Atividades De Exercício 05

1. A fig.4 representa a formação de dois elétrons emparelhados, formando um Par de Cooper, ou seja, dois elétrons acoplados com spins opostos que se movimentam juntos na banda de condução de um supercondutor.

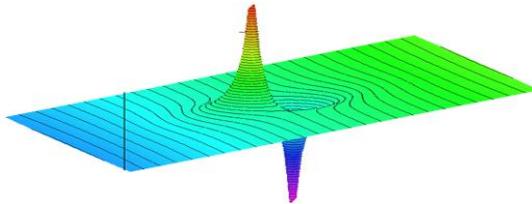


Fig. 4. Visualização lateral da formação de um par de elétrons acoplados (Par de Cooper) em um material supercondutor [6].

Com base na fig.4, na leitura do texto sobre supercondutividade em anexo [6] e a partir da visualização do movimento do par de Cooper em um campo potencial de Maxwell no software Maple marque a alternativa que responde as circunstâncias necessárias para a ocorrência do Par de elétrons acoplados.

- a) Resfriamento do condutor diminuindo o valor do potencial de Maxwell;
- b) Aquecimento da rede cristalina do condutor;
- c) Pela simples presença de um campo magnético próximo ao condutor;
- d) Pela proximidade do condutor à um solenoide, aquele vira um supercondutor.

4. Visualização Do Rompimento De Ligações

Ao contrário do comportamento esperado de uma carga de teste, a partícula percorre trajetórias que não necessariamente são perpendiculares às isolinhas do campo externo. A direção do deslocamento é reorientada a cada passo, produzindo trajetórias mais complexas do que as esperadas para as cargas de teste. Além disso, a própria partícula pode sofrer rearranjos internos, como mostram as figuras de 5 a 8. Neste cenário específico, um feixe de radiação incidente, representada pelo potencial de calibre, cujo comprimento de onda é da ordem da distância entre os átomos constituintes, provoca o

rearranjo da nuvem eletrônica, rompendo a ligação e promovendo a repulsão entre os átomos que antes se encontravam ligados. É importante salientar de que o *software* Maple permite gerar animações de modo que as figuras aqui apresentadas estaticamente podem ser exibidas como parte de um filme.

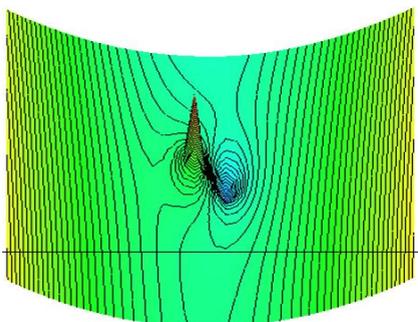


Fig. 5. Rompimento da ligação entre duas partículas devido a interação entre os campos: 1° estágio [6].

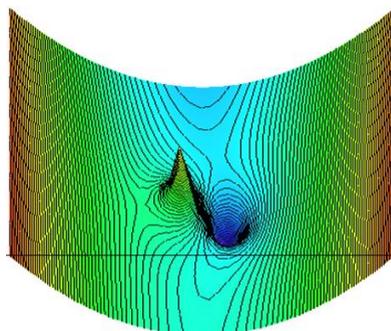


Fig. 6. Rompimento da ligação entre duas partículas devido a interação entre os campos: 2° estágio [6].

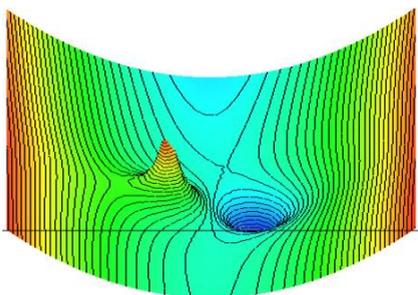


Fig. 7. Rompimento da ligação entre duas partículas devido a interação entre os campos: 3° estágio [6].

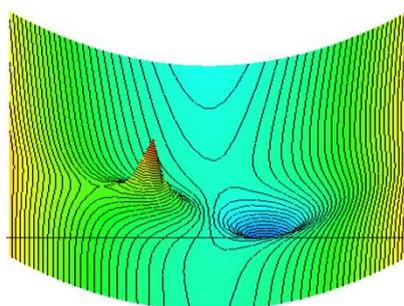


Fig. 8. Rompimento da ligação entre duas partículas devido a interação entre os campos: 4° estágio [6].

5. Resultados da Experiência Oriunda Do Uso Do Material Educacional

Ao apresentar o conteúdo sobre a interação entre partículas e campos eletromagnéticos por meio de gráficos e animações tridimensionais, foi verificado que a intuição geométrica adquirida se tornou um poderoso coadjuvante ao longo do processo de aprendizagem. Isto ocorreu durante todo

o roteiro de aprendizagem. Esse roteiro iniciou com o uso de imagens de campos potenciais, evoluindo para o processo de deformação desse campo pela presença de partículas, que ocorre tanto no Efeito Meissner-Ochsenfeld quanto na interação dessas partículas com o potencial de calibre. Em todas as etapas foi claramente constatado que na associação do conteúdo (eletromagnetismo) com o respectivo subsunçor (gravitação clássica) o emprego de imagens se tornou um excepcional facilitador para a compreensão dos eventos que caracterizam a interação radiação-matéria. O próprio aluno constatou e comentou que o uso da representação do campo eletromagnético por meio de imagens o ajudou na compreensão das interações e, que as cores representativas do campo foram fatores que propiciaram uma estimativa das trajetórias das partículas que ali fossem colocadas em regimes estacionários e ficaram sujeitas a interação exclusiva com o campo envoltório. Essas cores e o formato o ajudarão a prever pontos de máximo e mínimo no campo.

Citando novamente Paivio [5], é possível conceber uma extensão natural para o processo cognitivo. Dessa forma, o processo de aprendizagem do próprio educador pode ser consideravelmente enriquecido, por refinar ainda mais sua própria intuição geométrica, inferindo trajetórias de partículas a partir do formato do campo envoltório, e adquirindo maior intimidade com a linguagem matemática subjacente.

É importante observar que a conexão entre a linguagem matemática e a intuição geométrica não constitui um pré-requisito obrigatório para que o professor seja bem-sucedido na aplicação do produto educacional. Essa intuição surge naturalmente à medida que o educador faz uso do sistema de simulação, que não exige conhecimentos prévios mais profundos de matemática. Entretanto, para os docentes que tiverem interesse em conhecer a formulação matemática, basta consultar os Apêndices da dissertação [6].

6. Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros

Do ponto de vista educacional, o uso de imagens e simulações no ensino e aprendizagem se justifica por tornar o conteúdo mais cognoscível ao sujeito, e, de acordo com Ausubel [4], fazer relações com aquilo que o aluno já conhece facilita a sua aprendizagem. Em relação a interação entre partículas e campos eletromagnéticos, verificou-se que os alunos conseguiram estimar trajetórias, reconheceram o sinal das cargas e caracterizaram os pontos de máximo e mínimo do campo potencial. Ainda, uma vez levantada a hipótese de que os mecanismos responsáveis pela interação radiação-matéria são essencialmente os mesmos que descrevem a evolução temporal de sistemas reativos, o foco imediato do trabalho foi automaticamente direcionado para a identificação de todos os produtos de reação, sejam elas, novas moléculas ou mesmo a radiação por elas emitida. A partir desse ponto, foi iniciada a elaboração de um novo sistema de simulação baseado em um modelo de campo auto consistente, que visa investigar, em maior nível de detalhe, a evolução do potencial vetorial de Maxwell, a fim de inferir mecanismos e

produtos de reação. Esse trabalho, que está sendo desenvolvido por outro mestrando do programa constitui a principal recomendação para futuros desenvolvimentos nesta linha de investigação. A elaboração desse trabalho permitirá ampliar consideravelmente o potencial de aplicação da proposta apresentada, resultando em um material didático bastante versátil. Dentre as aplicações já existentes, se destacam 7 temas de grande interesse nas áreas de Eletromagnetismo, Química e Ciência dos Materiais:

- ✓ produção de polímeros termo resistentes;
- ✓ produção de polímeros condutores;
- ✓ identificação de compostos cancerígenos e mutagênicos;
- ✓ influência do potencial de calibre na energia de ativação de reações químicas;
- ✓ estudo dos efeitos deletérios das radiações;
- ✓ avaliação de seções de choque para fótons em uma ampla faixa de energia;
- ✓ conexões entre o fenômeno de espalhamento da radiação e o rearranjo da nuvem eletrônica em processos reativos.

7. Referências

1. Jahangir, Shafat; Khosru, Q. D. M. *A numerical model for solving two dimensional Poisson-Schrödinger equation in depletion all around operation of the SOI four gate transistor*– 2010. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5394215/authors#authors> . (Acesso em: 15 jun. 2017).
2. Carnahan, Brice. *et al. Applied Numerical Methods*:1 ed. John Wiley & Sons, 1969. Idioma: Inglês. ISBN-10: 0471135070 ISBN-13: 978-0471135074
3. Moreira, Marco A. *Linguagem e aprendizagem significativa*. Conferência de encerramento do IV Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. Maragogi, AL, Brasil, 8 a 12 de setembro de 2003. Versão revisada e ampliada de participação em mesa redonda sobre Linguagem e Cognição na Sala de Aula de Ciências, realizada durante o II Encontro Internacional Linguagem, Cultura e Cognição, Belo Horizonte, MG, Brasil, 16 a 18 de julho de 2003. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/linguagem.pdf>. (Acesso em: 10 jun. 2017).
4. Moreira, Marco A.; Masini, Elcie F. Salzano. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Editora Moraes, 1982.
5. Paivio, Alan Urho. *Intelligence, dual coding theory, and the brain. Inteligência, teoria da dupla codificação e o cérebro*. Intelligence (Ed. ELSEVIER), Canadá, 47, 141-158, novembro-dezembro, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez45.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0160289614001305?via%3Dihub> Acesso em: 18 jun. 2017.
6. Santos, Alencar Teixeira dos. *Simulação Da Interação Entre Partículas e Campos Eletromagnéticos*. 2018. 145f. Dissertação (mestrado profissional) - Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS - Campus Litoral Norte, Tramandaí, 2018. <http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001082231&loc=2018&l=af4b60fe67fd8a3e>. (Acesso em: 21 nov. 2018).