

Modelagem e Simulação de Fenômenos Eletromagnéticos por meio de Sistemas Multiagentes

Lucas Dantas Gueiros¹, Elmano Ramalho Cavalcanti², Robson Lima Pereira do Nascimento^{1,2}

¹Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) – Garanhuns – PE – Brasil

²Departamento de Física - Universidade Federal Rural de Pernambuco –
Garanhuns – PE – Brasil

{elmano.cavalcanti, robson.nascimento}@garanhuns.ifpe.edu.br,
lucasdantasgueiros@gmail.com

Abstract. *Unlike other fields of study in physics, the electromagnetism area requires a major effort for both teacher and students in order that the latter may adequately learn the concepts taught. Experimentation, via the use of electronic equipment and practical activities, and modeling/simulation through computer programs, are the main approaches employed to improve physics education in secondary and higher education. This work aims at the construction of novel simulation models of electromagnetic phenomena in order to use them in the classroom as a means to contribute to a better performance of the students in this field of study.*

Resumo. *Diferentemente de outros campos de estudo da física, a área de eletromagnetismo requer um esforço docente/discente mais acentuado para a concretização da árdua tarefa de ensino-aprendizagem. Experimentação, via o uso de equipamentos eletrônicos e atividades práticas, e modelagem/simulação por meio de programas de computador, têm sido as principais alternativas empregadas para aperfeiçoar o ensino da física no ensino médio e superior. Este trabalho objetiva a construção de modelos inéditos de simulação de fenômenos eletromagnéticos a fim de utilizá-los em sala de aula como meio de contribuir para um melhor rendimento dos estudantes nessa matéria.*

1. Introdução

Um estudo divulgado na revista Science (Bao et. al, 2009), feita por professores e pesquisadores de Física de algumas universidades norte americanas e chinesas, comparou o desempenho entre estudantes chineses e norte-americanos no tocante ao nível de compreensão de conceitos de física, com ênfase nas áreas de eletricidade e magnetismo. Os resultados apontaram uma grande diferença entre a nota média dos estudantes chineses (65,6% +- 12,8%) em comparação ao desempenho dos estudantes norte-americanos (26,6% +- 10,0%), em uma escala de 0 a 100%.

Os autores desse estudo elucidaram o fato de que o currículo chinês estabelece uma ênfase maior na física conceitual e na resolução de problemas, inclusive por meio de experimentação e modelagem/simulação de fenômenos. Os autores defendem que os estudantes devem possuir capacidade de raciocínio tais como as habilidades de “explorar sistematicamente um problema, formular e testar hipóteses, manipular e isolar variáveis, observando e avaliando as consequências das escolhas”.

A literatura deixa clara uma evidente dificuldade enfrentada pelos estudantes do ensino médio em compreender os conceitos de eletromagnetismo (BELCHER e OLBERT, 2003; SENGUPTA e WILENSKY, 2011). Segundo os autores, essa dificuldade é proveniente, em parte, da necessidade de estar familiarizado com a matemática fundamental subjacente que obscurece a física. Além disso, a abordagem tradicional de ensino de eletromagnetismo pouco faz para conectar as dinâmicas do eletromagnetismo com as experiências do dia-a-dia do estudante. Atesta-se ainda que os estudantes tem dificuldade em construir modelos conceituais em relação à maneira pela qual os campos eletromagnéticos medeiam as interações dos objetos portadores de carga que geram esses campos.

Existem diversas abordagens que buscam facilitar a aprendizagem dos conceitos mais teóricos de física, a exemplo do eletromagnetismo. Uma delas é a experimentação, onde os alunos realizam atividades simples em casa ou na escola utilizando materiais de fácil obtenção. A grande vantagem dessa abordagem é despertar a curiosidade e criatividade dos alunos, fazendo-os capazes de vivenciar parcialmente os conceitos teóricos da física a partir de situações práticas construídas por eles mesmos.

Embora a experimentação seja uma abordagem bastante interessante, ela em si não representa uma solução completa de estímulo e apoio para o ensino da física (DORNELES; ARAUJO; VEIT, 2012). Ao realizar um experimento físico, o estudante tem a oportunidade de vivenciar uma situação real em que os conceitos teóricos vistos em sala de aula podem ser verificados visualmente. Porém, isso não significa que o aluno conseguirá, de maneira direta, compreender, por exemplo, os efeitos das fórmulas matemáticas no fenômeno estudado. Para isso, outra abordagem vem sendo aplicada crescentemente nos últimos anos: o uso de softwares de modelagem e simulação (DORNELES et al., 2012).

BELCHER e OLBERT (2003) defendem o uso de analogias e softwares que contemplem representações visuais e interativas dos fenômenos físicos, o que também é defendido por outros autores (VASCONCELOS et al. 2004; DORNELES; ARAUJO; VEIT, 2012).

ARAÚJO et al. (2004) apresentam uma revisão abrangente da literatura referente ao uso de tecnologias computacionais no ensino de Física em nível médio e universitário. Os autores observaram “uma grande concentração de trabalhos envolvendo simulações computacionais e uma forte predileção pela mecânica newtoniana”. Muitas das ferramentas de simulações existentes (e.g., Modellus, Interactive Physics, Phet, Algodoo) possuem, em geral, mais enfoque para às áreas de mecânica, termologia, ondulatória e ótica, e menos utilização para a área de eletromagnetismo.

A modelagem e simulação baseada em sistemas multiagentes (do inglês, Agent-Based Modeling and Simulation - ABMS) é uma área promissora para pesquisas de natureza interdisciplinar, bem como para fomentar a compreensão de uma vasta gama de fenômenos naturais ou sociais por meio de simulações interativas (WILENSKY e RAND, 2015).

Os métodos de modelagem e simulação computacional tradicionais baseiam-se na descrição do sistema por meio de variáveis que representam o estado do sistema como um todo (RAILSBACK e GRIM, 2012, p. 31). Por outro lado, a abordagem ABMS parte da modelagem individual dos agentes (entidades autônomas), que interagem localmente

entre si e com o ambiente, ocasionando alterações globais no sistema. Essas alterações podem ser monitoradas em tempo real em termos de dimensões como o espaço-tempo.

Modelos baseados em agentes diferem de outras abordagens de modelagem pelo fato de integrarem tanto o nível ‘microscópico’, no tocante às interações dos agentes entre si e o meio, como no nível ‘macroscópico’, no que diz respeito às alterações que o sistema provoca nos agentes. Como afirmam Railsback e Grimm (2012, p. 24) utilizamos ABMS para investigar o que ocorre no sistema por causa das ações dos agentes, bem como o que ocorre com estes devido ao que o sistema faz.

Dentre os muitos softwares de ABMS disponíveis, um dos mais populares é o NetLogo (TISUE e WILENSKY, 2004). Ele tem sido usado para a criação de modelos das mais diversas áreas, tanto nas ciências sociais, exatas como naturais (WILENSKY e RAND, 2015). Quanto à reputação acadêmica, a quantidade de referências ao NetLogo já ultrapassa as 3000 citações, segundo dados do Google Acadêmico. O NetLogo tem servido como ferramenta de apoio educacional no ensino médio e superior, inclusive em pesquisas em nível de pós-graduação.

Softwares de ABMS como NetLogo (TISUE e WILENSKY, 2004) têm demonstrado ser ferramentas robustas e de grande potencial no auxílio para estudo de tópicos nas áreas de química, física, biologia, tanto em nível de ensino médio como no superior. Existe, de fato, um vasto campo de possibilidades para criação de novos modelos de simulação nas mais diversas temáticas que venham a ser utilizados em sala de aula como apoio ao professor na explanação dos conteúdos mais teóricos (WILENSKY e RAND, 2015).

O uso de ABMS representa um novo paradigma na forma de modelar computacional um sistema real, possibilitando uma inovação na maneira de construir, interagir e analisar modelos de simulação de fenômenos naturais.

Este trabalho trata de explorar essa oportunidade no âmbito do ensino de física no contexto do ensino médio. Mais precisamente, almeja-se a criação de modelos computacionais inéditos de simulação de fenômenos eletromagnéticos baseados no paradigma de sistemas multiagentes.

2. Metodologia

Para o desenvolvimento dos modelos está sendo utilizado o software NetLogo. Essa ferramenta de modelagem e simulação baseada em sistemas multiagentes (ABMS) foi escolhida por possuir excelente documentação, ser de simples aprendizagem e possuir boa visibilidade no meio acadêmico (RAILSBACK e GRIMM, 2012), o que potencializa o uso efetivo das soluções propostas em escala mundial por professores do ensino médio e superior.

Todo o desenvolvimento de software necessita de teste e validação, de maneira a verificar se o mesmo atende aos requisitos do problema. Essa realidade é a mesma para o desenvolvimento de um modelo de simulação computacional. Por isso, os modelos construídos serão testados por meio das análises de sensibilidade, de incerteza e de robustez (RAILSBACK e GRIMM, 2012, p. 416), além de testes de aceitação realizados junto ao especialista (professores de física). Além disso, os tutoriais para uso dos modelos serão elaborados segundo o padrão descrito no ambiente de modelagem NetLogo.

Os modelos serão projetados de maneira a auxiliar o estudante no desenvolvimento das seguintes habilidades de raciocínio e aprofundamento da matéria estudada, consideradas como essenciais para uma aprendizagem sólida dos fenômenos físicos (Bao et al., 2009):

- Explorar sistematicamente um fenômeno (e.g., indução eletromagnética);
- Formular e testar hipóteses (e.g., campo magnético gera uma corrente elétrica);
- Manipular e isolar variáveis (e.g., intensidade de corrente elétrica), observando e avaliando as consequências das escolhas.

Como exemplos de modelos de simulação inéditos que poderão ser desenvolvidos, após investigação inicial do que já foi feito na área de ABMS, destacam-se: eletrização por indução, linhas de força de um campo elétrico, resistividade elétrica, galvanômetros e a ponte de Wheatstone.

3. Modelos de Simulação no NetLogo

Inicialmente foi realizado um levantamento das técnicas de modelagem de sistemas multiagentes, das ferramentas utilizadas e de problemas educacionais, através da revisão de artigos, no último caso. A partir desses conhecimentos foram desenvolvidos modelos de aprendizagem e protótipo baseados em sistemas multiagentes de alguns campos do conhecimento, incluindo cinemática, jogos e o próprio eletromagnetismo.

3.1 Modelos Iniciais de Teste

No campo da cinemática, foram construídos modelos que representam o movimento uniforme (MU), o movimento uniformemente variado (MUV) e o movimento circular uniforme (MCU). A Figura 1 (lado esquerdo) ilustra o modelo de agentes em MUV, em que é possível escolher a quantidade de agentes, a velocidade inicial e a aceleração.

O objetivo da construção desses modelos iniciais foi de trabalhar conceitos como distância, tempo, velocidade, aceleração e direção dentro do NetLogo. Todos esses conceitos tornam-se importantes já que descrevem o movimento de qualquer partícula dentro da física clássica, na qual os modelos em grande parte são fundamentados.

Nesses modelos, entretanto, não existe qualquer relação de dependência entre os agentes, o que será necessário para a modelagem de fenômenos eletromagnéticos. Dessa forma, no intuito de abordar esse requisito foi produzido um pequeno jogo, inspirado no clássico Snake (Figura 1, lado direito).

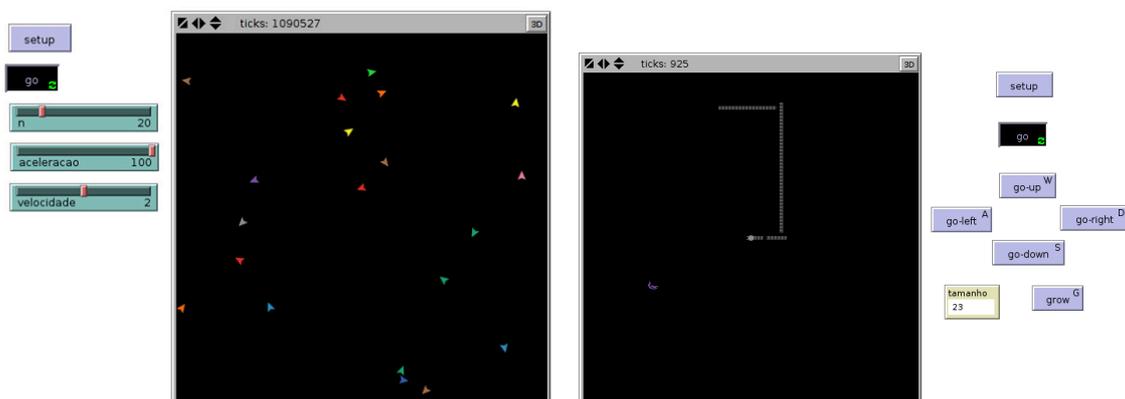


Figura 1 – Modelo de partículas em movimento retilíneo uniforme (à esquerda), e modelo do jogo Snake (à direita).

Nesse modelo cada seção do corpo da serpente é modelada como um agente individual que realiza seu movimento apenas imitando a seção a sua frente, com numa fila indiana. Para essa relação usamos Links, um tipo de agente especial que conecta Turtles, os agentes comuns, sendo este outro conceito trabalhado neste modelo. Nestas relações, pode-se observar que, quando o jogador pede para que a serpente vire, digamos, à direita, apenas a cabeça (primeira seção) vira imediatamente a direita, todas as outras seções esperam até chegarem exatamente no ponto em que a cabeça estava no momento do comando para virarem também. Esse movimento foi construído como o resultado do comportamento de cada agente individual apresentando, por tanto, um comportamento emergente, uma das características dos sistemas multiagentes.

No jogo Snake, a serpente procurava por pequenos elementos que a faziam crescer, sua comida. Nesse modelo, a comida foi construída com um agente de um Breed diferente, algo como classes nas linguagens de programação mais tradicionais, que entrava em colisão com a cabeça da serpente. Estas duas técnicas, divisão em breeds e colisões, foram usadas frequentemente nos modelos de eletromagnetismo. Além desses modelos para estudo, foi desenvolvido um modelo simples que relacionava a velocidade dos elétrons com a resistividade e a tensão aplicada a um fio.

3.2 Protótipo de Modelo de Elétrons Livres

Após a criação dos modelos de testes no NetLogo, iniciou-se o levantamento dos requisitos e verificação de quais modelos de eletromagnetismo poderiam ser desenvolvidos. Por meio da leitura de livros didáticos de eletrodinâmica (GUIMARÕES; PIQUEIRA; CARRON, 2013; RAMALHO; FERRARO; SOARES, 2009), os quais são voltados para o ensino médio, foram identificados alguns fenômenos como possíveis de serem modelados:

- Modelo de elétrons livres;
- Eletrização por indução;
- Indução eletromagnética.

Percebeu-se que, a partir da construção de um modelo de elétrons livres, seria relativamente simples a sua evolução até atingir os outros modelos desejados, apenas passando por um modelo intermediário de corrente elétrica.

O modelo de elétrons livres constitui-se de uma rede cristalina de íons metálicos positivos, cujos núcleos exercem fraca atração nos elétrons mais distante, que passam a transitar “livremente” dentro do metal. Ele é de suma importância para a teoria do eletromagnetismo no ensino médio mas apresenta falhas. A complexidade dos modelos mais atuais, da física quântica, nos impede de utilizá-los tanto no ensino como na modelagem por sistemas multiagentes. Entretanto, para que esse modelo possa ser modificado e gerar os outros dois modelos escolhidos é necessário que: (1) os elétrons sofram atração e repulsão elétrica de íons e (2) que os elétrons sofram interação da força magnética quando desejado.

Por meio da simples adição ao modelo de dois terminais, um positivo e outro negativo, pode-se simular a aplicação de uma diferença de potencial, gerando corrente elétrica. Os terminais são entendidos como “caixas pretas”, das quais só consideramos os

efeitos externos, para este modelo. O terminal negativo “lança” elétrons no sistema assim que um outro elétron chega ao terminal positivo. Dessa forma, podemos manter uma quantidade constante de elétrons na seção do fio modelada. Um protótipo desse modelo (corrente elétrica) é exibido na Figura 3.

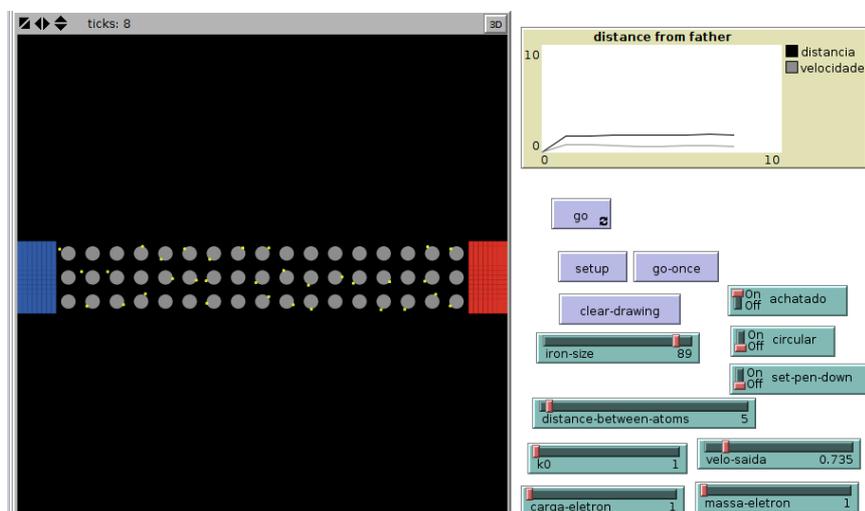


Figura 3 - Protótipo do modelo de corrente elétrica.

No modelo de eletrização por indução duas peças metálicas são aproximadas sem entrarem em contato. A primeira está carregada negativamente (ou positivamente, vamos usar o caso negativo como exemplo) e a segunda será eletrizada no processo. Nesse caso cenário, os elétrons em excesso da peça eletrizada exercem repulsão nos elétrons da outra peça, que se movem para o lado oposto e gerando uma área carregada positivamente no lado próximo a peça aproximada. Em seguida, aterriza-se o lado negativo da peça, deixando a peça carregada positivamente. O aterramento pode ser simulado usando-se os terminais, já criados no modelo de corrente elétrica.

Por fim, o modelo de indução eletromagnética será construído usando-se uma espira com área controlável através de um ramo móvel onde será aplicado um campo magnético uniforme perpendicular ao plano. Essa restrição é necessária já que a ferramenta utilizada é bidimensional. Ao garantirmos que o campo será perpendicular ao campo, seus efeitos de movimento nas cargas estarão resumidos ao plano modelado. Ao movermos a placa, os elétrons dela adquirem certa velocidade e, conseqüentemente, sofrem uma força magnética que os faz “subir” ou “descer” no ramo. Assim, é gerada uma concentração de elétrons em uma parte do ramo e, conseqüentemente, uma zona com carga positiva no outro ramo. Essa diferença faz com que uma corrente elétrica flua pela espira enquanto o ramo continuar em movimento.

4. Considerações Finais

Atualmente está sendo finalizando o modelo de elétrons livres, o qual requer um elevado nível de precisão, visto tratar-se de uma peça-chave na construção de modelos mais avançados. Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver os modelos de eletrização por indução e indução eletromagnética, que serão utilizados e avaliados em sala de aula e em laboratórios pelos professores de física e estudantes dos cursos técnicos integrados ao ensino médio em um dos campus de um Instituto Federal.

Referências

- ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no Ensino de Física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 4, n. 3, p. 5–18, 2004.
- BAO, L. et al. Physics. Learning and scientific reasoning. *Science*, v. 323, n. 5914, p. 586–587, 2009.
- BELCHER, J. W.; OLBERT, S. Field line motion in classical electromagnetism. *American Journal of Physics*, v. 71, n. 3, p. 220, 2003.
- DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em Física Geral. *Ciência & Educação*, v. 18, n. 1, p. 99–122, 2012.
- RAILSBACK, S. F.; GRIMM, V. *Agent Based and Individual Based Modeling: A Practical Introduction*. [s.l.] Princeton University Press, 2012.
- TISUE, S.; WILENSKY, U. Netlogo: A simple environment for modeling complexity. *International Conference on Complex Systems*. Anais. 2004.
- SENGUPTA, P.; WILENSKY, U. Lowering the learning threshold: Multi-agent-based models and learning electricity. In: *Models and Modeling*. [s.l.] Springer, 2011. p. 141–171.
- VASCONCELOS, F. H. L., SANTANA, J. R. e NETO, H. B. *Aprendizagem Medida por Computador: Uma experiência de Ensino de Física com a Utilização da Simulação Computacional*. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Universidade Federal do Ceará, 2004.
- WILENSKY, Uri; RAND, William. *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. The MIT Press, 2015.
- GUIMARÃES, Osvaldo; PIQUEIRA, José Roberto; CARRON, Wilson. *Física*. São Paulo: Ática, 2013. 3 v.
- RAMALHO JÚNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. *Os Fundamentos da Física*. 10. ed. São Paulo: Moderna, v. 3, 2009.