

Simulação de Colisões Dirigidas ao Ensino de Física

Collisions Simulations for Teaching Physics

Mari Aurora Favero Reis [marireis@ulbra.tche.br]
Agostinho Serrano de Andrade Neto [serrano@ulbra.tche.br]

Resumo

Entre as possibilidades do uso do computador no ensino de física, a simulação computacional de experimentos de laboratórios didáticos tem sido uma das mais abordadas nos últimos anos. Na Internet é possível encontrarmos um grande número de simulações que podem ser utilizadas por educadores para abordagem de conceitos e leis físicas. Foram selecionados cinco programas que simulam colisões mecânicas e que podem ser utilizados no estudo de conceitos e leis importantes para o tema. O propósito deste trabalho é estabelecer critérios importantes para o ensino, com o auxílio de simulações, de colisões e fazer uma avaliação das simulações selecionadas, à luz de resultados de pesquisas publicadas na área de ensino de física.

Palavras-chave: *Simulações computacionais, colisões, ensino de física.*

Abstract

Among the possibilities of using computers in physics education, computer simulations of didactic laboratory experiments have been one of the most used in the last years. In the Internet, one can find a large number of simulations that can be used by educators to teach physics laws and concepts. Five programs were selected that simulate mechanical collisions and that can be used in teaching important laws and concepts of mechanical collisions. The purpose of this work is to set important criteria for the teaching of mechanical collisions, with the help of simulations, and perform an evaluation of the selected simulations, in the light of research done in the field of physics teaching.

Key words: *Computer simulations, mechanical collisions, physics teaching.*

Mari Aurora Favero é mestranda do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática (ULBRA).

Agostinho Serrano de Andrade Neto é professor do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática (ULBRA).

Este trabalho recebeu auxílio da FULBRA, CNPq, CAPES e FAPERGS

1. Introdução

Pesquisas sobre a aprendizagem de conceitos fundamentais em cursos introdutórios de física em ensino superior tem sido objeto de estudo em faculdades e instituições de ensino superior. Os resultados destas pesquisas mostram que muitas vezes é comum um sentimento de fracasso e desinteresse por parte de muitos estudantes em relação à física (Esquembre, 2002).

Poderíamos atribuir este insucesso em relação ao ensino de física a vários fatores: o não reconhecimento por parte da sociedade científica e do público em geral da física como disciplina vital (Esquembre, 2002); a alta dose de abstração dos conceitos com que a física lida, fazendo com que a matemática seja uma ferramenta essencial (Medeiros & Medeiros, 2002); a necessidade de mudanças curriculares, no Brasil, tanto no ensino médio quanto superior (Moreira, 2000).

Com relação à necessidade do aprendizado de física, pode-se dizer que se vive, num mundo dominado pelo uso e busca de informações. Alguns fatos e processos que se ensinam na escola, rapidamente se tornam obsoletos. Assim, ao invés de apenas memorizar informações, os estudantes devem ser capazes de buscá-las e utilizá-las na construção do conhecimento. Essas mudanças podem ser introduzidas com o auxílio do computador, que pode propiciar aos estudantes a busca e seleção de informações, a resolução de problemas e a aprendizagem de forma independente (Yamamoto & Barbata, 2001). Assim a física pode ser utilizada para gerar, no educando, uma base conceitual necessária a uma busca eficiente de novos conhecimentos.

Em relação a esta tecnologia criou-se, por parte dos educadores, uma visão romantizada de que o computador resolveria todos os problemas de aprendizagem. Os computadores mostram um grande potencial no processo de

ensino e aprendizagem, quando eles forem adequadamente utilizados, como parte de uma aproximação da educação coerente (Esquembre, 2002). É preciso destacar, contudo que a simples utilização da informática não garante que os estudantes tenham boa aprendizagem (Medeiros & Medeiros, 2002).

Entre as ferramentas de informática, as simulações computacionais têm sido uma excelente forma de se utilizar o computador na construção de conceitos físicos abstratos. As simulações interativas de fenômenos naturais e experimentais, graças à capacidade gráfica e de cálculos, ajudam o aluno a lidar com a parte matemática necessária para compreensão dos conceitos físicos e, também, permitem a introdução de conceitos abstratos (Zamarro, et al. 1998). Com o uso de simulações torna-se viável realizarmos experimentos que na maioria das vezes só poderiam ser feitos em laboratórios muito equipados (Yamamoto & Barbata, 2001).

Para Esquembre (2002), simulações deveriam ser ambientes de aprendizagem abertos, que proporcionem aos estudantes: desenvolver a compreensão de fenômenos e leis físicas através de hipóteses e de idéias; isolar e manipular parâmetros que auxiliem na compreensão das relações entre conceitos físicos, variáveis e fenômenos; empregar uma variedade de representações e, investigar fenômenos que não seriam possíveis serem experimentados em sala de aula ou laboratório. Este tipo de tecnologia de ambiente computacional aberto, aliado a uma metodologia didática que a explore, é denominado como atividades de modelagem, onde o aluno pode criar simulações de acordo com suas concepções em particular e testá-las frente à realidade.

Hoje, na rede mundial de computadores, já é possível encontrarmos um grande número de simulações para o ensino de física. Foram selecionadas cinco simulações desenvolvidas para auxiliar os estudantes na construção de conceitos

físicos, no estudo de colisões elásticas e inelásticas. As quatro primeiras simulações são de domínio público e a última é comercial. É importante destacar que a ordem de apresentação das mesmas não diz respeito à preferência ou importância para a física.

Em relação às tecnologias utilizadas no estudo de colisões, raramente em laboratório tradicional são dadas condições para o estudante investigar suficientemente fenômenos como colisões à luz dos conceitos de energia e quantidade de movimento (Broadstock, George & Vázquez-Abad, 2001), sendo que as simulações computacionais têm se mostrado um excelente recurso para estes fins.

Do ponto de vista didático, foi levado em consideração à possibilidade de utilizá-las com estudantes do ensino médio. Segundo Orquiza e Villani: "... o ensino de conservação de energia e quantidade de movimento raramente ocorre no ensino médio; quando acontece normalmente não passa da fase de coleção de conhecimento, que é considerada pelos educadores como satisfatório na aprendizagem sobre o tema de colisões e princípios de conservação" (1996 p.10).

O propósito deste trabalho consiste em estabelecer critérios importantes para a aprendizagem de conceitos físicos relevantes ao estudo de colisões, relatados na literatura (Broadstock, George & Vázquez-Abad 2001; Grimellini-Tomasini et al., 1993; Orquiza & Villani, 1996,) e para o uso de simulações como ferramenta pedagógica eficaz (Esquembre, 2002; Marcelino & Mendes, s.d; Yamamoto & Barbeta, 2001). Finalmente, após terem sido estabelecidos critérios importantes para o ensino de colisões e do uso de simulações para o ensino de ciências, eles são utilizados para análise de cinco programas disponíveis na Web, voltados ao ensino de física.

2. Metodologia

Diferentemente da forma usual de avaliação dos softwares educativos, onde em geral são utilizados critérios relevantes apenas do ponto de vista da informática (estabilidade, estética, compatibilidade, portabilidade, utilização de novos recursos gráficos, etc), propomos uma avaliação centrada em características (critérios) importantes para o processo de ensino-aprendizagem, com o uso de simulações, no estudo de colisões mecânicas. Em vista disso, construímos uma tabela com os critérios utilizados (abaixo relacionados) que devem ser considerados para julgamento da qualidade destes programas.

Quanto aos critérios conceituais, três considerações foram levadas em conta. Nos dois primeiros itens foram analisados não apenas a presença ou não de energia cinética e quantidade de movimento, como também a possibilidade de visualização dos mesmos antes, durante e após a colisão. Segundo Grimellini-Tomasini et al. (1993), o fato de os estudantes analisarem apenas os estados iniciais e finais faz com que eles normalmente não entendam as leis de conservação. No terceiro critério, tendo em vista que os estudantes deveriam distinguir que, em uma colisão elástica, a energia cinética e a quantidade de movimento se conservam, foram analisadas as possibilidades de estabelecer este vínculo, importante para a compreensão do fenômeno de colisões, também segundo diversos autores, como Grimellini-Tomasini, et al (1993).

No quarto item foi levada em consideração a possibilidade de representação de grandezas vetoriais (como velocidades, posições e quantidade de movimento) e escalares (massas e tempo). Segundo Broadstock, George & Vázquez-Abad 2001, muitos estudantes tem dificuldades de entender quantidade de movimento como vetor, assim as simulações podem ser um excelente

recurso por poderem representar graficamente um vetor, auxiliando o processo de ensino-aprendizagem.

No quinto item foi observados a relação da simulação com o experimento real. É evidente que existem diferenças significativas entre experimentar um fenômeno através de um experimento real ou através de uma simulação computacional (Medeiros & Medeiros, 2002). Entretanto, esta dificuldade pode ser minimizada se a simulação representar um fenômeno real e de fácil acesso ao estudante, especialmente, seja em situações do cotidiano ou em laboratório.

Nos três últimos itens foram analisadas as características que deveriam estar presentes nas simulações computacionais (Esquembre, 2002; Marcelino & Mendes, s.d; Yamamoto & Barbeta, 2001). Para Esquembre (2002) as simulações devem ser ambientes de aprendizagem que propiciem ao estudante a manipular parâmetros e através destes auxiliar os estudantes na compreensão da relação destes com os conceitos físicos e os fenômenos. A manipulação de parâmetros é importante porque deixa o estudante livre para experimentar diferentes parâmetros, mesmo que a modificação destes parâmetros não esteja contemplado na atividade.

A presença de vários elementos gráficos representacionais, como barras, gráficos, etc., é importante para que o estudante possa relacionar estas grandezas com outras. Por exemplo, o gráfico de barras pode ser útil para que o estudante visualize a percentagem da energia cinética frente à energia total, podendo observar mínimos e máximos da energia cinética facilmente. Além disto, a presença de vários tipos de representação treina o estudante a utilizá-las em ciências. Assim, este item foi considerado e é representado no sétimo item da tabela.

Finalmente, o último critério utilizado reflete justamente boa parte dos critérios

utilizados corriqueiramente em avaliações de programas de informática, inclusive os voltados ao ensino de ciências. Estes critérios são, todavia, importantes e devem ser levados em consideração. Problemas referentes à estabilidade do programa durante a sua utilização, a sua portabilidade, que permite o usuário utilizá-lo em diferentes computadores, em lugares diferentes (casa, escola, etc), bem como a compatibilidade com diferentes tipos de plataforma, ampliando os seus espectros de uso devem, naturalmente, estar presentes em uma avaliação de software. A facilidade de uso do programa é, também, critério essencial para uma boa evolução das atividades de ensino-aprendizagem dentro de um ambiente de sala de aula (Marcelino & Mendes, s.d).

3. Análise dos programas

Na avaliação dos programas para cada critério analisado foi estabelecida uma nota de zero a um (tabela 1), sendo que a presença da característica (critério) foi atribuída nota um; quando não era apresentada a característica nota zero e ainda, nota (0,5) se apresentava a característica de forma parcial, confusa ou não coerente com o processo ensino/aprendizagem do fenômeno.

Tabela 1

Avaliação das simulações para o estudo de colisões em relação aos critérios estabelecidos.

Simulações	Trilho de ar	Vagões	Bolinhas	Blocos	Carrinhos
Crítérios utilizados					
1.Representação da Energia Cinética – Antes, durante e após a colisão.	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0
2. Representação da Quantidade de Movimento – Antes durante e após a colisão.	0,5	1,0	1,0	0,5	0,0
3.É possível relacionar conservação de energia com o tipo de colisão.	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0
4.Representação das grandezas - de natureza escalar e vetorial.	0,0	1,0	0,5	1,0	0,0
5. A simulação é de um experimento real?	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0
6.Manipulação de parâmetros como velocidades, massas e posições.	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5
7.Variedade de visualização: barras, gráficos, animações, ícones.	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0
8.Facilidade de utilização do programa, estabilidade e portabilidade.	1,0	1,0	0,0	1,0	0,5
Nota final.	5,5	7,5	3,5	4,5	3,0

3.1 - Colisões em trilho de ar

Disponível no *site* <<http://fsc.ufsc.br/~canzian/simlab/colisoes/colisoes.html#exemplos>> o applet Java é uma simulação desenvolvida para explorar conceitos físicos envolvidos em colisões elásticas e inelásticas. A simulação utiliza o modelo de um experimento de laboratório: colisões de dois carrinhos no trilho de ar (figura 1). Sabemos que este equipamento, por ter um custo muito elevado e ser muito sensível em seu uso, só é possível de ser encontrado em algumas instituições de ensino superior e nem sempre é utilizado. A simulação representa uma situação idealizada, pois representa uma situação de atrito nulo, excluindo, inclusive, o atrito do ar e outras forças atuantes. É evidente que “um sistema real é freqüentemente muito mais complexo e as simulações são desenvolvidas baseadas

em modelos que contém simplificações e aproximação da realidade” (Medeiros & Medeiros, 2002, p. 80). Contudo, é fácil perceber que é justamente esta a intenção não apenas dos autores do programa como também do experimento de trilho de ar, que é tentar se aproximar de uma situação de atrito nulo.

Quanto à interatividade, a simulação apresenta parâmetros ou variáveis onde os estudantes podem estabelecer diferentes valores iniciais para massa, velocidade, posições e coeficiente de restituição (definido pelo autor da simulação como a razão entre as velocidades relativas de afastamento e aproximação), obtendo-se, assim, uma colisão elástica ou inelástica. A simulação mostra também os tempos que os carrinhos levam para atingir as bandeiras.

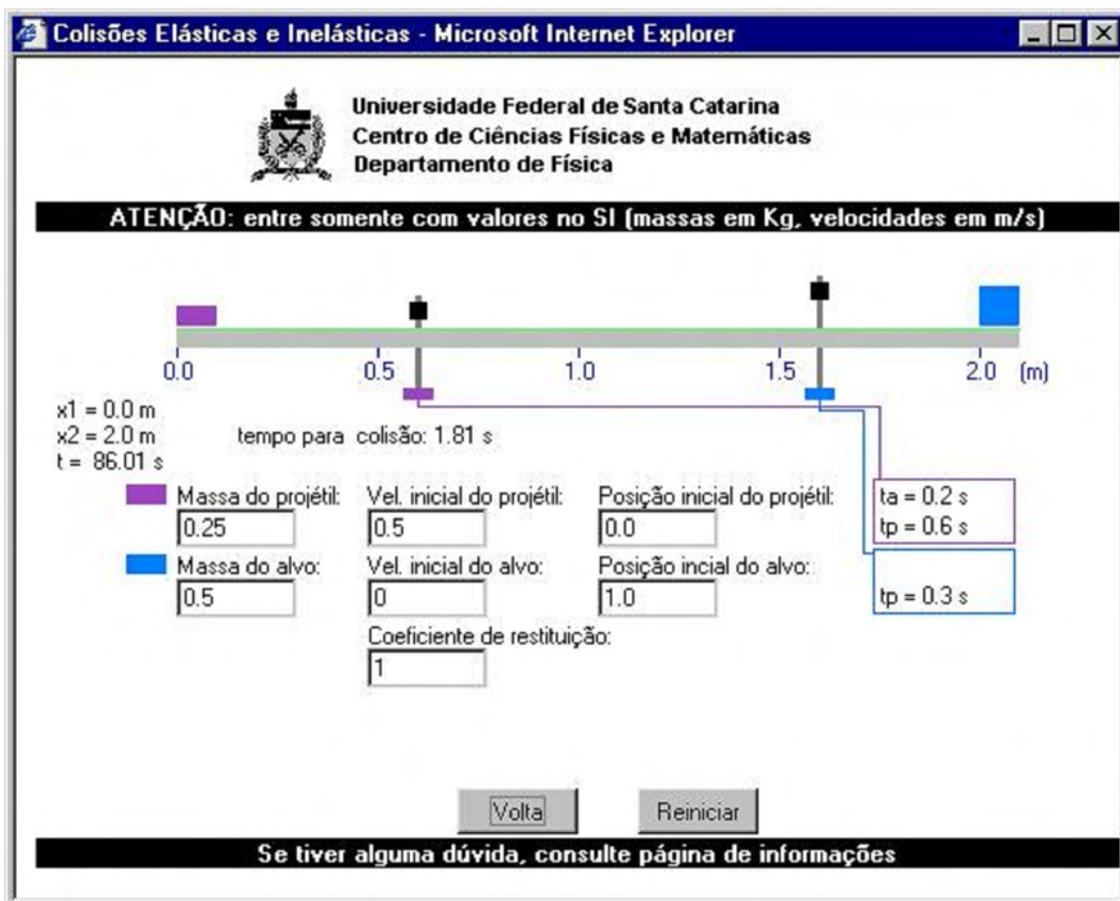


Figura 1: Simulação de colisões em trilho de ar

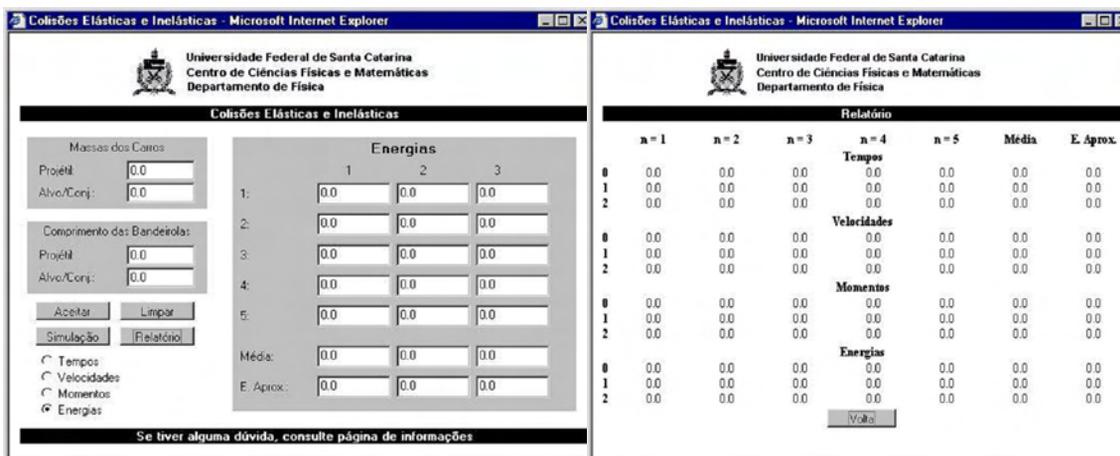


Figura 2: (a) Caixa de controle da simulação e (b) relatório da simulação

Na tabela da figura 2a, além dos botões de controle, o estudante pode visualizar diferentes valores para as variáveis tempo, velocidade, quantidade de movimento e energia. Na tabela da figura 2b, ele tem acesso ao relatório de todas as variáveis digitalizadas. Infelizmente não existe conexão com o simulador propriamente dito, podendo ser utilizada esta parte unicamente para entrada de dados tomados em experiências (virtuais ou reais). Nesta o estudante digita os dados nos diversos tempos em que os carrinhos saíram dos lugares ou passaram pelas bandeiras (figura 1) e irá obter os relatórios. Como o relatório pode representar a energia e a quantidade de movimento de colisões, podem-se identificar colisões elásticas (aqui definidas como aquelas onde a energia é conservada); colisões inelásticas (existe alguma perda de energia cinética) e também o caso especial de colisões perfeitamente inelásticas (a maior perda possível de energia cinética, sem que a conservação de quantidade de movimento seja violada), onde os carrinhos deslocam-se juntos após a colisão.

Por último, é importante destacar que, mesmo sendo apresentada em páginas com hipertextos contendo explicações teóricas e/ou experimentais, esta atividade é indicada para uso com estudantes de nível superior. Além de não ter uma aparência visual muito atraente aos estudantes de ensino médio, esta simulação não é tão simples de ser utilizada e envolve conceitos que normalmente não são abordados com estudantes deste nível escolar. Também tem um claro vínculo com experimento de colchão de ar experimental, disponível em geral apenas em universidades.

3.2 – Colisões entre dois vagões

O Applet Java da figura 3 simula, também de forma idealizada, colisões perfeitamente elásticas e perfeitamente

inelásticas entre dois vagões. Ao simular, o estudante poderá observar o que ocorre com as velocidades, energia cinética e quantidade de movimento antes, durante e após o fenômeno da colisão; analisar se houve ou não conservação da energia cinética e da quantidade de movimento. Os resultados são apresentados em diversas formas simbólicas, tanto em número como em vetores graficamente representados (figura 3). Este é um dos pontos mais fortes desta simulação, pois se comunica com o usuário utilizando diversas formas simbólicas usadas em física.

Quanto à manipulação de dados, o estudante pode estabelecer diferentes valores para os parâmetros iniciais de velocidades, massas e posições dos mesmos.

Além de ser muito simples de executar, a simulação possui características que possibilitam ao estudante a visualização de formas variadas, através de vetores, animações, barras, ícones e combinação de cores. O programa ainda possibilita que o deslocamento dos vagões seja de forma normal ou em câmera lenta (veja em <http://home.a-city.de/walter.fendt/phbr/collision_br.htm>), mostrando que o programa se preocupa em ilustrar o que acontece durante a colisão, justamente um dos pontos de dificuldade de aprendizagem de colisões reportados por Grimellini-Tomasini, et al, 1993.

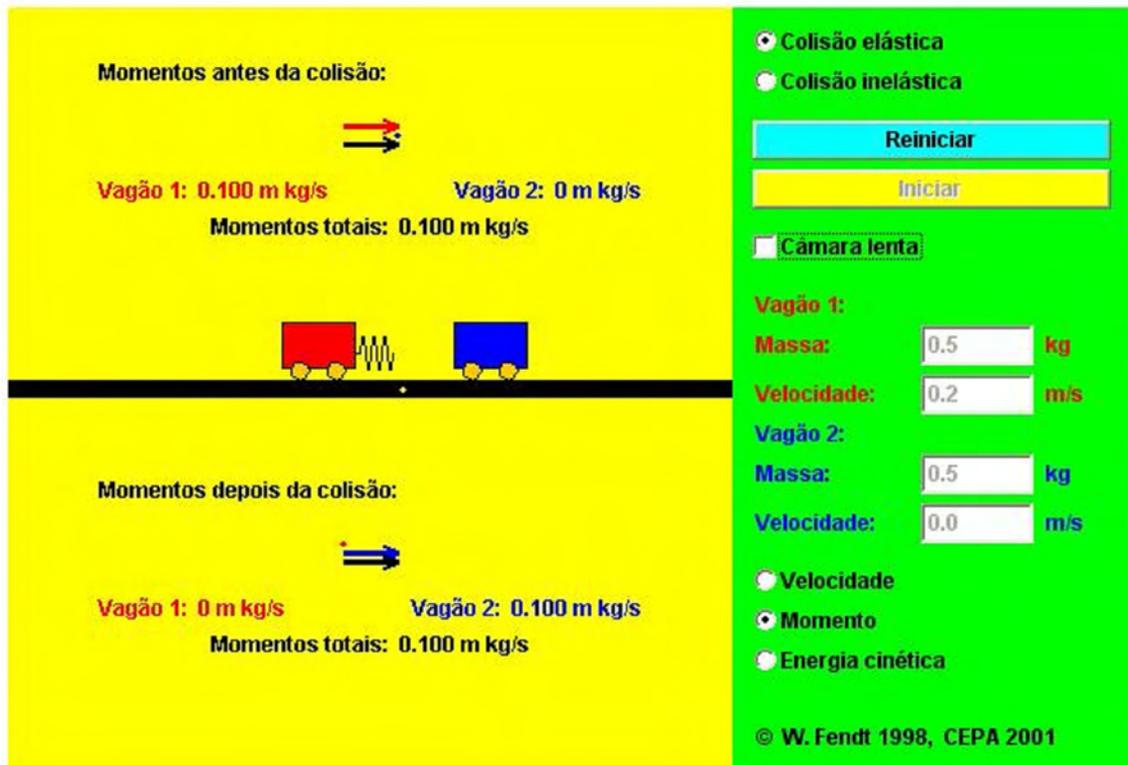


Figura 3: Tela da simulação dos vagões.

Devido à facilidade em manipular o programa e outras características citadas acreditamos que esta simulação pode ser um excelente recurso para o estudo de colisões com estudantes de nível médio. Porém, novamente alertamos que o sucesso de sua utilização irá depender da integração com o currículo escolar e das atividades desenvolvidas em sala de aula (Yamamoto & Barbeta, apud Barbeta, 2001). A única deficiência deste programa é permitir que sejam simuladas somente colisões elásticas ou completamente inelásticas.

3.3 – Colisões de bolinhas

Este applet Java (Figura 4) simula colisão elásticas e inelásticas unidimensionais de dois objetos circulares (bolinhas) ao se movimentarem entre dois blocos cinzas (disponível em <<http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/collision1D/collision1D.html>>).

A simulação apresenta varias formas de interação para mudar parâmetros como: *velocidades*, arrastando a seta vermelha com o botão direito do mouse; a *massa*, clicando no interior das bolinhas; as características do laboratório, *lab* (blocos estáticos), *m1* ou *m2* (centro de massa em massa1 ou massa2) e *cm* (todos os objetos movendo-se); mudar os valores de *eta* (coeficiente de restituição), obtendo-se assim colisões elásticas ou inelásticas.

Acreditamos que esta simulação seja mais adequada a estudantes de nível superior devido aos seguintes aspectos:

- Existem algumas variáveis que nem sempre podem se manipuladas pelo estudante de forma direta, como é o caso da massa e velocidade das bolinhas;
- Visual não atraente e sem grandes recursos gráficos podendo



Figura 4: Simulação de colisões de bolinhas entre dois blocos. Os vetores são representados em vermelho e os respectivos módulos em azul.

proporcionar um desinteresse por parte dos estudantes de ensino médio;

- E, por último, por apresentar o material explicativo ou hipertextos em HTML em Inglês.

3.4 – Colisões entre dois blocos

O programa <http://www.fisica.ufpb.br/prolicen/Applets/Applets1/Colisoes/ColElas.html> simula colisões elásticas entre dois blocos deslocando-se num plano horizontal.

Nazareno/Romero
Programa de Licenciatura
UFPB/PRG/CCEN/DF

Velocidade final do corpo A = 0.0 m/s
Velocidade final do corpo B = 20.0 m/s
Momento Linear do Sistema = 600.0 kgm/s
Velocidade do Centro de Massa = 15.0 m/s

Corpo A

Corpo B

DADOS INICIAIS

Massa do corpo A

Velocidade de A

Massa do corpo B

Velocidade de B

Figura 5: Simulação de colisões entre dois blocos.

Quanto à interatividade é possível de estabelecer parâmetros iniciais para as massas e as velocidades dos blocos. Ao executar o programa o estudante observa as velocidades finais, momento linear e centro de massa dos blocos.

Quanto a aspectos visuais ele apresenta o fenômeno da colisão de forma simplificada e de fácil entendimento a estudantes de diferentes níveis.

Do ponto de vista conceitual a simulação auxilia o estudante a explorar alguns conceitos fundamentais para o estudo de colisões como: quantidade de movimento e velocidade do centro de massa; no entanto não explora o princípio de conservação de energia. Também, apenas permite que o estudante simule colisões elásticas, não oferecendo a ele a possibilidade de relacionar os resultados com colisões não elásticas de forma a construir seus conceitos. Contudo, ao explorar a conservação da velocidade do

centro de massa (em sistemas onde a massa se conserva e são ausentes forças externas) o programa adota o que pode ser uma boa estratégia para o aprendizado de quantidade de movimento.

3.5 -Interações entre carrinhos

É um programa que simula colisões elásticas de dois carrinhos (veja em <<http://www.ludoteca.if.usp.br/download/interage/index.html>>. O programa é atraente devido às imagens, animações, interatividade e forma de apresentação; mantendo a atenção dos estudantes por mais tempo. Porém, o excesso de entusiasmo a cerca das novas tecnologias pode fazer com que alguns conhecimentos e habilidades importantes sejam perdidas (Miro-Julia, apud Medeiros & Medeiros, 2002).

O programa possibilita que o estudante manipule os seguintes parâmetros



Figura 6: A simulação de interação entre carrinhos da Ludoteca da USP é comercial e de uso restrito. Pode-se utilizar por trinta dias gratuitamente.

- *Carro1 e Carro2*: são apresentados botões de controle para massa, posição inicial e velocidade inicial (veja figura 6);
- *Harm*: o estudante pode estabelecer interações harmônicas (tipo massa-mola) variando a dinâmica de equilíbrio e/ou constante elástica;
- *Eletr*: podem ser atribuídas cargas elétricas para os carrinhos, podendo-se obter uma força de atração ou repulsão entre os carrinhos;
- *Magnet*: o estudante pode atribuir intensidade de interação magnética entre os carrinhos, proporcionando um campo magnético entre os mesmos.

Quanto a algumas características conceituais e funcionais devem ser observados os seguintes aspectos:

- Devido à variedade de conceitos envolvidos na simulação, talvez não seja tão adequada a estudantes novatos em física. Mesmo com estudantes que estão em nível mais avançados, o processo de construção dos conceitos físicos deverá ser muito bem guiado pelo professor.
- Apenas parte da pista aparece na simulação, sendo que o estudante não percebe o que ocorre na maior parte do deslocamento dos carrinhos, dificultando o acompanhamento no deslocamento dos carrinhos após a colisão.
- As variáveis não são apresentadas de forma clara e definidas. Assim, os estudantes poderão perder muito tempo para descobrir como definir valores para velocidades, posições e massas dos carros.
- As opções de interações *Harm*, *Eletr* e *Magnet* (descritos anteriormente) naturalmente se constituem em elementos que enriquecem o uso das

simulações. Contudo se forem utilizadas por estudantes que não estejam de posse dos conceitos fundamentais de conservação de quantidade de movimento e energia cinética, podem distrair o aprendizado. Assim esta parte pode ser utilizada em trabalhos complementares após a compreensão de conceitos básicos. Provavelmente são indicadas para estudantes universitários que seguem uma carreira em física e áreas afins.

4- Comentários finais e conclusão

São muitos os programas disponíveis na Internet que podem ser utilizados para simular fenômenos importantes para a aprendizagem dos conceitos e leis físicas, em diferentes níveis de ensino. Porém, o sucesso da utilização dos mesmos irá depender de sua integração com o currículo escolar, da metodologia utilizada para sua efetiva aplicação em sala de aula e de sua abordagem em relação ao nível dos alunos.

As simulações (2.1, 2.2, 2.3, e 2.4) permitem estar inseridas em hipertextos explicativos em HTML auxiliando o professor ou o estudante que, ao simular visualize, também, explicações e resumo dos modelos matemáticos que envolvem os conceitos. Para Zamarro, et al. (1998) o fato de o aluno buscar explorado é muito positivo no processo de aprendizagem, uma vez que o conhecimento adquirido através da busca permanece mais estável que aquele adquirido passivamente. É evidente que o papel do professor na orientação do processo é importante. Também, por elas estarem disponíveis na Web, é possível de ser utilizado em sala de aula, no laboratório e inclusive em casa, permitindo que o estudante possa utilizá-

lo na construção de conceitos ou no desenvolvimento de outras tarefas, como por exemplo, na resolução de problemas.

Quanto ao estudo de colisões, normalmente os estudantes demonstram dificuldades de entender como e quando ocorre conservação de energia e quantidade de movimento. Nas simulações apresentadas e analisadas neste trabalho observou-se que apenas na simulação 2.2 o estudante consegue, ao simular, observar o que ocorre com a energia e quantidade de movimento antes, durante e após a colisão proporcionando assim a construção de conceitos das leis de conservação. A simulação 2.3 e 2.4 (apesar da 2.4 simular apenas colisões elásticas) por representarem a velocidade do centro de massa antes e após a colisão, podem contribuir para o aprendizado da conservação de quantidade de movimento, com ressalvas já comentadas.

Outro fato importante de se destacar é quanto à diferenciação entre uma colisão elástica ou inelástica. Nas simulações 2.1 e 2.3 o estudante simula uma colisão elástica ou inelástica variando o coeficiente de restituição que é definido através da razão entre as velocidades relativas de afastamento e aproximação.

É chamada de coeficiente de restituição a grandeza física:

$$e = -\frac{v_{1f} - v_{2f}}{v_{1i} - v_{2i}} \text{ onde } v_{2f} \text{ é a velocidade}$$

do corpo dois final v_{1f} é a velocidade do corpo um final v_{2i} é a velocidade do corpo dois inicial e v_{1i} é a velocidade do corpo um inicial.

Numa colisão elástica o módulo da velocidade relativa após a colisão é igual ao módulo da velocidade relativa antes da colisão, ou seja, a razão entre elas é um. Numa colisão inelástica essa razão não vale um, já que os corpos perdem alguma quantidade de energia cinética e suas

velocidades diminuem após a colisão. Nas colisões inelásticas os corpos têm uma velocidade relativa não nula após a colisão, exceto quando ocorre uma colisão perfeitamente inelástica. Neste caso, a velocidade de afastamento é nula, isto é, os corpos movem-se com a mesma velocidade (estão "grudados") e o seu coeficiente de restituição é, portanto, zero. O coeficiente de restituição é, na realidade, a grandeza quantitativamente mais precisa para avaliar a perda de energia cinética em uma colisão. Entretanto, trabalhos realizados por Grimellini-Tomasini, et al. 1993 com estudantes de nível superior mostram que relacionar a perda da energia cinética, em uma colisão, com a relação entre as velocidades relativas iniciais e finais dos projéteis, é conceitualmente sofisticado e distante das concepções espontâneas dos estudantes. Conforme dizem textualmente estes autores: "Mesmo quando os estudantes identificam uma ligação entre a inelasticidade da colisão e a perda ou transformação da energia, eles focam sua atenção na diminuição da velocidade de cada corpo interagente" (p.177). Assim, utilizar, por exemplo, a conservação ou não da energia cinética como fator determinante do tipo de colisão (elástica ou inelástica) em uma simulação pode ser mais adequado por tentar aproximar-se tanto das concepções espontâneas dos estudantes como do perfil conceitual adequado ao estudo de colisões, mediante o uso das leis de conservação e dentro do atual contexto didático utilizado em livros-texto (Halliday; Resnick; & Walker, 2002).

Porém, em nenhuma das simulações a conservação de energia é utilizada para definir o tipo de colisão. Dessa forma, uma contribuição efetiva para que simulações de colisões possam ser mais eficientes no processo de ensino-aprendizagem de colisões seria, positivamente, utilizar a energia cinética para distinguir entre tipos diferentes de colisões, ao invés de utilizar o coeficiente de restituição como nas

simulações 2.1 e 2.3.

Por último, acreditamos que todas as simulações estudadas apresentam características importantes e outras falhas para a construção do conhecimento de conceitos envolvidos no estudo de colisões. Através da avaliação efetuada neste trabalho podemos concluir que a simulação 2.2 foi a que recebeu a melhor nota, por melhor apresentar os critérios estabelecidos e pode ser utilizada em diferentes níveis de ensino. Porém, cabe aos educadores a seleção do programa mais adequado ao nível de seus estudantes e às atividades que serão desenvolvidas.

Referências

- BROADSTOCK, M.J., GEORGE, E.A. & VÁZQUEZ-ABAD, J. Learning Momentum and Energy Conservation with Computer Support in an Undergraduate Physics Laboratory. NARST National Meeting, St. Louis, MO. Mar. 2001. Disponível em <<http://userpages.wittenberg.edu/egeorge/NARST2001paper.PDF>> Acesso em: 18 nov.2002.
- ESQUEMBRE F. - Computers in Physics Education. *Computer Physics Communications*. v.147, p. 13-18, ago. 2002.
- GRIMELLINI-TOMASINI, N. et al. Understanding conservation laws in mechanics: students' conceptual change in learning about collisions. *Science Education*, v.77, n.2, 169-189, 1993.
- HALLIDAY, D; RESNICK, R; E WALKER, J. - *Fundamentos de Física*. V.1. Editora LTC, 6ª ed. Rio de Janeiro: 2001.
- MARCELINO, M. J. & MENDES, T. - Estratégias e Ferramentas para a Construção de Programas Educativos de Simulação. *Universidade de Coimbra, Portugal, s.d.* Disponível em <http://www.c5.cl/ieinvestiga/actas/ribie94/II_41_48.html>. Acesso em 19 nov 2002.
- MEDEIROS, A; MEDEIROS, C. F. - Possibilidade e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v.24, nº2, p.77-86 jul.2002.
- MOREIRA, M. A - Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Prospectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v.22, nº1, p.94-99, mar. 2000.
- ORQUIZA L. C. & VILLANI, A. - Aprendizagem dos princípios de conservação em entrevistas didáticas. *Revista Investigação em ensino de ciências*. Porto Alegre, v.1, n.1, 1996. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>. Acesso em: 17 out. 2002.
- YAMAMOTO, I.; BARBETA, V. B. - Simulações de experiências como ferramenta de demonstração visual em aula teórica de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v.23, n.2, p.215-225, jun. 2001.
- ZAMARRO, J. M.; MARTÍN, E.; ESQUEMBRE, F.; HÄRTEL, H. - Unidades didáticas em física utilizando simulaciones interactivas controladas desde facheiros HTML. IV Congresso RIBIE, Brasília 1998. Disponível em: <<http://www.niee.ufrgs.br/ribie98/TRABALHOS/100.PDF>>. Acesso em: 23 set. 2002.

