
ESTUDO DO FENÔMENO DE COLISÕES ATRAVÉS DA MODELAGEM COMPUTACIONAL QUANTITATIVA^{++*}

Mariana Rampinelli

Laércio Ferracioli

Departamento de Física – UFES

Vitória – ES

Resumo

Os avanços das chamadas novas tecnologias têm estimulado o debate sobre sua integração aos processos de ensino e aprendizagem. Nessa perspectiva, torna-se necessário o delineamento de investigações sobre sua efetiva utilização em sala de aula. Este artigo descreve um estudo sobre a utilização da modelagem computacional quantitativa por alunos universitários no estudo do tópico de Física sobre Colisões como estratégia de integração da tecnologia da informática ao aprendizado exploratório em Ciências. Os resultados indicam que a modelagem computacional adequadamente estruturada através de atividades específicas pode levar o aluno a refletir sobre os conceitos científicos abordados e suas concepções.

Palavras-chave: *Processos de ensino e aprendizagem, modelagem computacional, modelagem.*

Abstract

The rapid growth of the so called new technologies has encouraged a debate on its integration within teaching and learning processes. Hence, it is crucial to find out how effectively to take advantage of it to the educational context. This article describes a study on quantitative computational modelling of a Physics topic with undergraduate students as a strategy for integrating computational technology into exploratory learning in Science. The results lend support to the conclusion that computational modelling, when appropriately used, can encourage students to further investigate the concepts studied.

⁺ The Study of the Collision Phenomenon Using Quantitative Computer Modelling

* Recebido: janeiro de 2005.

Aceito: março de 2006.

Keywords: *Teaching and learning processes, computational modelling, modelling.*

I. Introdução

Os avanços da tecnologia da informação, da comunicação e da imagem têm provocado um amplo debate sobre sua inserção e uso em pesquisa nas diversas áreas de conhecimento, tanto para agilizar quanto para construir processos no cotidiano (SCHAFF, 1996). Nessa perspectiva, é natural e pertinente a ampliação desse debate para o contexto educacional no qual são questionados os modos de inserção desse ferramental nos processos de ensino e aprendizagem em diversas áreas, tanto para o nível médio (e.g. OLIVEIRA, 2004; GONÇALVES, 2004) quanto para a educação superior (e.g. CAMILETTI, 2001; RABBI; FERRACIOLI, 2002; RAMPINELLI et al, 2002).

Dessa forma, este artigo apresenta o relato de uma experiência que integra a tecnologia da informação e comunicação aos processos de ensino e aprendizagem de tópicos de conteúdos específicos da Física através dos conceitos de modelo e modelagem computacional.

II. Referencial teórico

Uma das formas de integrar a tecnologia da informação e comunicação ao contexto educacional é através do uso dos conceitos de modelagem e modelagem computacional. Um modelo pode ser entendido como representação de um objeto, sistema ou evento, sendo essa representação construída a partir de regras e relações entre as partes que a compõe e o todo. (SAMPAIO, 1999; RAMPINELLI et al, 2002).

Nesse sentido, as ferramentas de modelagem podem ser tão simples como o lápis e papel (e.g. NOVAK; GOWIN, 1988) ou incluir a utilização de tecnologias interativas tais como o computador (e.g. OGBORN, 1984, 1990, 1999; MANDINACH, 1989; VITALE et al, 1995). Nessa segunda alternativa, enquadra-se a modelagem computacional, destacando-se pelo caráter dinâmico de seus modelos (FERRACIOLI, 2000; CAMILETTI; FERRACIOLI, 2001).

Por essa perspectiva, as atividades de construção de modelos podem ser desenvolvidas como exploratórias ou expressivas. Enquanto na atividade expressiva o estudante é levado a desenvolver modelos a partir de suas próprias concepções em um Ambiente de Modelagem Computacional, a atividade exploratória apresenta ao aluno um modelo previamente construído por um especialista, de forma a possibilitar a análise do problema de formas diferentes (BLISS; OGBORN, 1989). Uma atividade semi-expressiva pode ser entendida como aquela em que o aluno é levado a trabalhar na perspectiva expressiva, mas com o auxílio de um especialista.

No entanto, a utilização da modelagem computacional no contexto educacional demanda o delineamento de uma investigação que inclua tanto o desenvolvimento de atividades de modelagem quanto seu efetivo uso em sala de aula para que se possa concluir as reais possibilidades de sua integração no cotidiano de sala de aula (FERRACIOLI, 2000). Dessa forma, o presente estudo relata uma experiência de integração de tecnologia de informação e comunicação através do conceito de modelagem computacional quantitativa no estudo de um tópico específico de Mecânica.

III. A concepção do estudo

Nesta seção, é apresentado o delineamento do estudo com a descrição do curso estruturado, do Ambiente de Modelagem Computacional utilizado, do Módulo Educacional implementado nesse ambiente, do instrumento de coleta de dados e da amostra utilizada.

III.1 O curso

Para o desenvolvimento dessa investigação, foi oferecido um Curso de Extensão denominado “*Representação e Modelagem de Sistemas Físicos com Computador*”. O curso foi organizado com uma carga horária de quinze horas distribuídas em cinco módulos de três horas cada: **Módulo 1** *Introdução ao Estudo de Sistemas Físicos a partir da Dinâmica de Sistemas*; **Módulo 2** *Modelagem e Representação de Sistemas Físicos com o Ambiente de Modelagem Computacional STELLA*; **Módulo 3** *O Estudo de Sistemas Físicos a partir do Ambiente de Modelagem Computacional STELLA*; **Módulo 4** *Modelando e Representando Sistemas Físicos no STELLA: Exercícios* e **Módulo 5** *Modelando e Representando Sistemas Físicos: O Estudo de Colisões*.

O curso foi oferecido para 3 turmas, com uma média de 10 alunos cada e ministrado ao longo de três semanas. Para a realização do curso, foi desenvolvido um material baseado em atividades exploratórias, semi-expressivas e expressivas que incluíam instrumentos de coleta de dados com questões objetivas e abertas sobre o processo de construção de modelos e sobre conceitos físicos. Os alunos trabalharam em duplas a fim de possibilitar a discussão das atividades propostas.

O Módulo 1 constituiu-se da apresentação do referencial teórico utilizado na modelagem computacional e os Módulos de 2 a 4 introduziram os estudantes ao Ambiente de Modelagem Computacional quantitativo STELLA a partir de atividades práticas nas quais foram explorados recursos tais como saídas gráficas e tabelas. As atividades incluíam a construção de modelos e sua posterior análise baseada tanto nos resultados das simulações quanto nos princípios e conceitos físicos abrangidos.

No **Módulo 5**, que será objeto deste artigo, realizou-se um estudo exploratório sobre Colisões que foi dividido em 3 etapas: na primeira, os alunos responderam um questionário sobre o tema; na segunda, desenvolveram uma atividade semi-expressiva sobre Colisões; na terceira, foi desenvolvida uma atividade exploratória sobre o tema. Ao final do último módulo, os alunos responderam uma *Avaliação discente* sobre o curso.

III.2 O Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo STELLA

O Ambiente de Modelagem Computacional utilizado para o desenvolvimento deste estudo foi STELLA, acrônimo de *Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation*, cuja tradução em português é **Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação baseado no Pensamento Sistêmico**. Essa escolha é baseada no fato de que este ambiente vem sendo investigado pelo Modelab nos últimos anos (e.g. FERRACIOLI; CAMILETTI, 1998; CAMILETTI; FERRACIOLI, 2001; RAMPINELLI et al, 2003).

A principal característica que influenciou a escolha desse ambiente é a possibilidade de construção de modelos através da conexão de ícones que traduzem a evolução temporal dos fenômenos em estudo. O usuário não necessita trabalhar com equações matemáticas, mas somente fornecer relações causais entre as variáveis consideradas relevantes para que o sistema converta essas relações em linhas de programa. O STELLA permite a geração tanto de saídas gráficas que mostram a evolução temporal de quaisquer variáveis quanto de tabelas que traduzem numericamente essas variações (SANTOS, 1995).

O ambiente STELLA utiliza a metaforicamente objetos como tanques, válvulas, conversores e conectores. O **tanque/nível** representa uma grandeza que pode crescer ou decrescer, a **válvula/taxa** associada ao tanque determina a razão de variação temporal da grandeza representada pelo nível, o **conversor** pode ser uma constante ou uma grandeza calculada pelo modelo e o **conector** estabelece um vínculo direto entre os objetos que compõem o modelo (e.g. FERRACIOLI; CAMILETTI, 1998). O quadro 01 apresenta um resumo dos ícones básicos da metáfora do STELLA.

Dessa forma foi estruturado um Módulo Educacional sobre o tópico de *Colisões* utilizando o Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo STELLA que é descrito na próxima seção.

ÍCONE	DESCRIÇÃO
	NÍVEL: representa uma variável que pode ser alterada ao longo do tempo por uma variável do tipo taxa.
	TAXA: representa uma variável que promoverá a mudança da variável tipo Nível ao longo do tempo. Pode ser Unidirecional ou Bidirecional.
	CONVERSOR: representa o mecanismo para estabelecer constantes, definir entradas externas para o modelo e realizar cálculos algébricos.
	CONECTOR: representa uma relação de causa-efeito entre variáveis, expressando uma dependência entre elas.
	PLATAFORMA DE GRÁFICOS: é usada para traçar o gráfico de uma ou mais variáveis de um modelo em simulação.
	PLATAFORMA DE TABELAS: é usada para visualizar a saída numérica de uma ou mais variáveis de um modelo em simulação.

Quadro 01: Ícones básicos de construção de modelos do STELLA.

III.3 O módulo educacional sobre colisões

Esse módulo foi desenvolvido a partir da metodologia baseada na triangulação de aspectos de teorização, experimentação e atividades de modelagem e simulação do fenômeno em estudo (FERRACIOLI; SAMPAIO, 2001). Nesse sentido, o módulo é composto de uma apresentação de aspectos teóricos relacionadas ao fenômeno de Colisões, seguido de atividade exploratória de construção de modelos e, finalmente, da análise dos dados experimentais coletados em laboratório através da simulação de modelos construídos.

O módulo educacional abordou a experiência *A4 – Conservação do Momento Linear Durante uma Colisão* – da disciplina Física Experimental I, oferecida pelo Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo para alunos do segundo período de cursos da área de Ciências Exatas que já estudaram o tópico em questão na disciplina Física I. A tela inicial desse módulo educacional é mostrada na Fig. 01.

Clicando no botão *Menu Principal*, o aluno tem acesso a outra página que contém o objetivo da experiência e sua explicação teórica conforme mostrado na Fig. 02. Nessa tela há quatro botões para que o estudante possa navegar pelo Módulo Educacional. Os botões *Equipamentos* e *Procedimento* levam, respectivamente, a explicações sobre aparelhagem e procedimentos adotados durante a realização da *Experiência A4* em laboratório. O terceiro botão, *Explorando o Modelo*, permite ao aluno acessar um novo menu com os botões *Construindo o Modelo*, *Simular*, *Dados* e *Resultados*, que permitem examinar, respectivamente, o procedimento usado para a constru-

ção do modelo, o processo de simulação, a inserção de seus próprios dados no modelo para simulação e a análise dos resultados.



Fig. 01 - Tela inicial da atividade exploratória do Módulo 5.

Experiência A4

Conservação do Momento Linear Durante uma Colisão

Objetivos:
Verificar que o momento linear total de um sistema se conserva durante as colisões que podem ocorrer dentro do sistema considerado.

Caracterização do Problema:
Para a realização dessa experiência, um sistema constituído por dois corpos distintos de massa m_1 e m_2 é utilizado. Esses corpos aproximam-se com velocidades v_1 e v_2 , respectivamente. Dessa forma, o momento linear total do sistema será:

$$\vec{p} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

Se após a colisão os corpos se movimentarem com as velocidades v'_1 e v'_2 , respectivamente, o novo momento linear total será:

$$\vec{p}' = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

Considerando um movimento horizontal e sem atrito, verifica-se que $\vec{p} = \vec{p}'$, ou seja, o momento linear do sistema se conserva.

[Equipamentos](#) [Procedimento](#) [Explorando o Modelo](#) [Uma Outra Visão Do Problema](#) [Página Inicial](#)

Fig. 02 - Apresentação da Atividade.

Através do ícone *Construindo o Modelo*, o aluno visualiza uma tela que explica o porquê e como explorar o modelo, conforme mostrado na Fig. 03. Clicando no botão *Continuar*, ele poderá observar a história que descreve passo a passo a construção do modelo. Nessa nova página, surge inicialmente apenas um ícone sinalizando

o início do processo e, ao acessá-lo, é possível analisar suas características a partir de uma caixa de texto com comentários que contam parte dessa história, observar suas conexões com outras variáveis e refletir sobre o significado dessas conexões.

Por fim, uma nova variável sinalizada com ponto central surge e desse modo o modelo é construído passo a passo, ou seja, variável a variável. A Fig. 04 mostra uma etapa deste processo na qual o ícone sinalizado - - é o *Pos inic2*. A partir dessa figura é possível analisar o modelo de movimento tanto do carrinho1, em cor laranja, quanto do carrinho2, em verde. Ao seguir a construção do modelo, novos ícones são acrescentados de modo a possibilitar a análise do momento linear e da energia cinética do sistema. O modelo final é mostrado na Fig. 05.

Por que Explorar o Modelo?

A partir deste ponto, você terá uma visão de como o Modelo dessa experiência foi construído. Clicando no botão 'Continuar', você irá para um novo ambiente, onde verá passo-a-passo:

- a construção do Modelo;
- as características de cada elemento;
- como as propriedades que permitem que cada um desses elementos se relacionem com outros.

Para isso, clique nos pontos que aparecem no centro de cada elemento para que o Modelo seja montado.
Para retornar a essa página, clique na seta que aponta para cima no canto superior esquerdo da tela.

Boa Navegação!!!

[Continuar](#)

Depois de explorar a construção do modelo, retorne ao menu para continuar o estudo.

[Voltar ao Menu
Anterior](#)

Fig. 03 - Tela de construção do modelo.

Após simular o modelo, o aluno pode retornar ao menu *Explorando o Modelo* através do botão *Voltar* e seguir para a tela *Trabalhando com seus Dados* clicando no botão *Dados*. Nessa tela, mostrada na Fig. 06, ele pode alterar valores pré-definidos no módulo educacional: as massas dos corpos, a velocidade inicial do primeiro corpo e as velocidades finais de ambos os corpos. Essa tela abre a possibilidade de o aluno analisar o comportamento do sistema em diferentes situações.

O comportamento do sistema e das variáveis com os novos valores definidos pelo aluno pode ser observado ao clicar o botão *Resultados*. Essa tela possibilita que ele compare o gráfico obtido com os valores de posição coletados durante a fase experimental com os valores achados pela simulação do modelo.

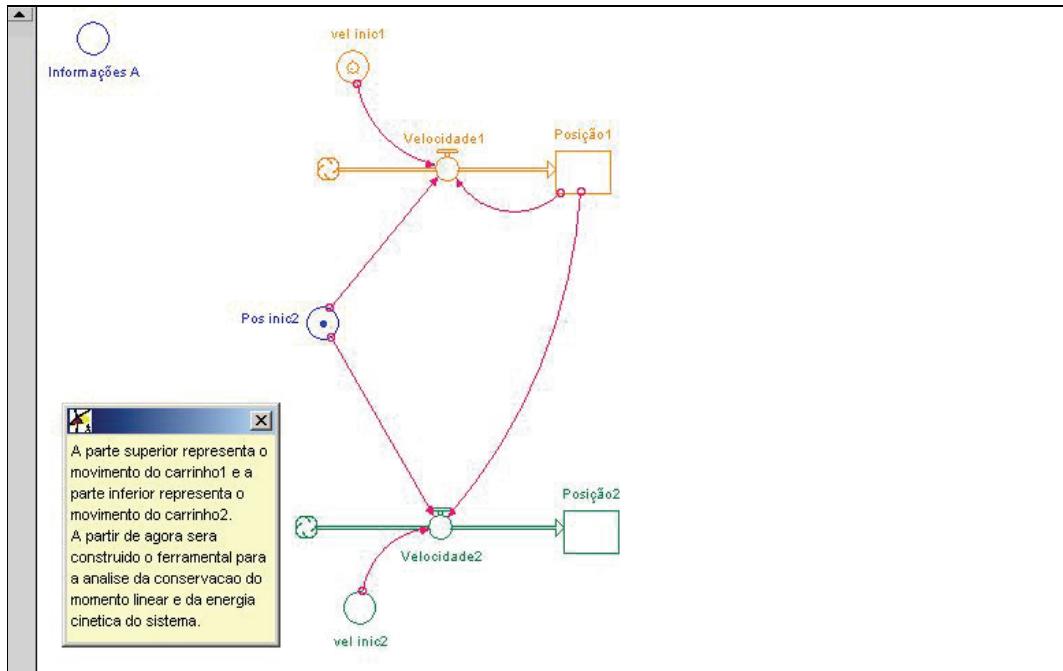


Fig. 04 - Construindo o modelo.

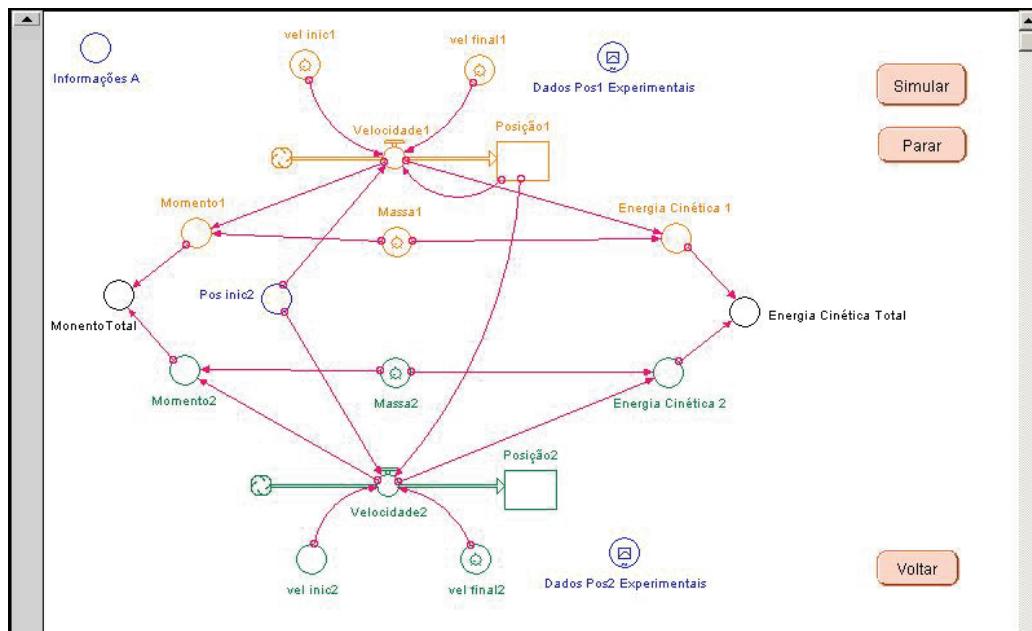


Fig. 05 - Modelo da Experiência A4.

A Fig. 07 mostra o gráfico da posição do primeiro corpo, tanto com os valores experimentais quanto com valores da simulação. Uma vez que o modelo atendeu satisfatoriamente ao sistema em estudo, o gráfico com valores experimentais, em vermelho, número 2, e o com valores de simulação, número 1 em azul, coincidem. Ao

clicar no botão *Prosseguir*, após analisar os gráficos dessa tela, o estudante acessa outra com mais três novos gráficos: o primeiro sobre o comportamento do *momento linear*, o segundo sobre *energia cinética* e o terceiro sobre *velocidade*.

Trabalhando Com Seus Dados

Nessa parte do trabalho você poderá comparar os resultados de seu experimento no laboratório com os resultados da simulação.

Dê duplo clique nos Dispositivos de Entrada de Gráfico: na caixa de diálogo que surge, insira suas medidas em OUTPUT, relativas a cada instante de tempo (INPUT). Logo após, clique em OK.

Lembre-se que os gráficos feitos pela simulação são contínuos e que, para efeito de comparação, seu gráfico também deve ser. Para isso, faça os ajustes necessários aos valores de cada tabela.

Para obter mais informações, você pode clicar na interrogação.

Dados Pos1 Experimental

0.30350	0.30000
0.10000	0.50000

Dados Pos2 Experimental

0.15320	0.30000
0.10000	0.50000

Resultados

Voltar ao Menu Anterior

Voltar ao Menu Inicial

Com o mouse, gire os círculos centrais dos dispositivos abaixo para variar as massas dos carrinhos e suas velocidades inicial.

Massa1

0.30350	0.30000
0.10000	0.50000

Massa2

0.15320	0.30000
0.10000	0.50000

vel inic1

0.26800	0.25000
0.00000	0.50000

vel final1

0.10900	0.25000
0.00000	0.50000

vel final2

0.29800	0.25000
0.00000	0.50000

Fig. 06 - Trabalhando os dados dos alunos.

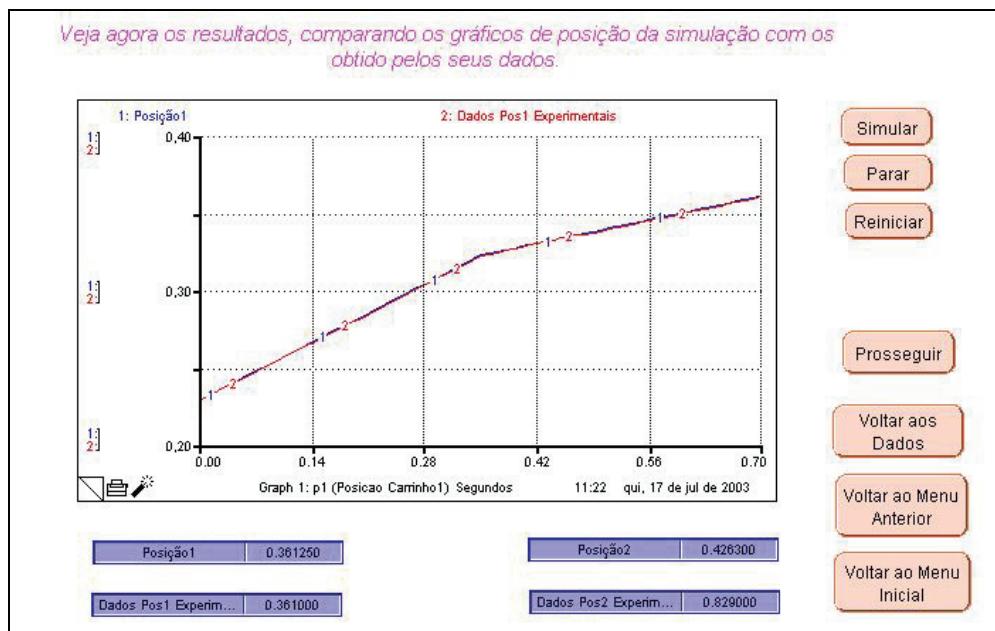


Fig. 07 - Resultado da simulação com dados inseridos pelo aluno.

Terminando a análise dos resultados dessa simulação, o aluno pode voltar ao *Menu Inicial*. Ao retornando a esse menu, ele pode reiniciar o estudo usando um modelo alternativo para a simulação através do botão *Uma Outra Visão do Problema*,

mostrado na Fig. 02. Esse novo modelo, apresentado na Fig. 08, foi construído baseado na Segunda Lei de Newton.

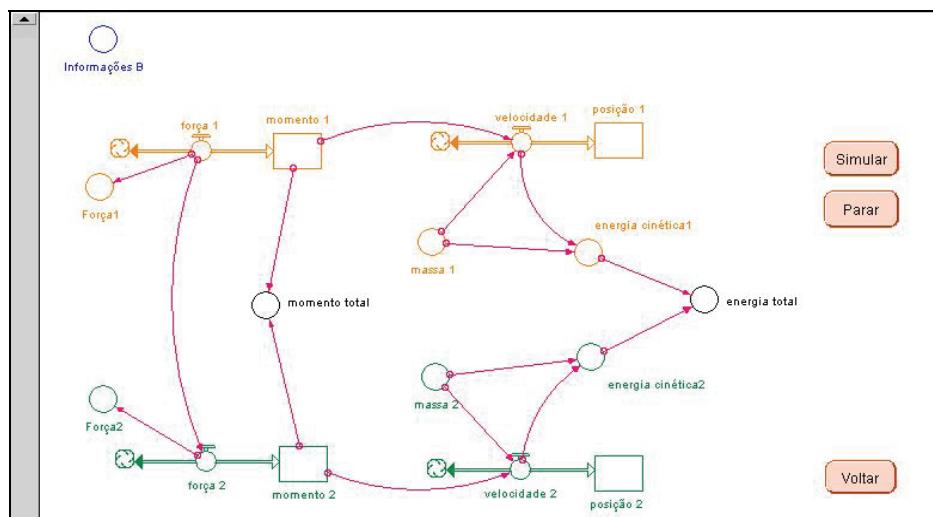


Fig. 08 - Novo modelo para a Experiência A4.

III.4 Instrumento de coleta de dados: O Módulo 5

O Módulo 5 foi estruturado em três partes que são descritas a seguir.

III.4.1 Módulo 5 - Parte 1: Questionário sobre o tópico de colisões

Na primeira atividade do Módulo 5 foi apresentada uma contextualização do problema aos alunos através do texto:

Considere uma colisão frontal de dois corpos de massas m e M .

Considere ainda que as massas desses dois corpos não se alteram durante a colisão e que esse sistema esteja isolado.

A seguir os alunos foram solicitados a responder um questionário sobre conceitos relacionados ao fenômeno de *Colisões*. Apesar disso, este trabalho não aborda a discussão sobre as respostas desse questionário uma vez que o foco do presente artigo é o processo de construção de modelos a partir de um ambiente de modelagem computacional.

III.4.2 Módulo 5 – Parte 2: A atividade de modelagem semi-expressiva

A atividade semi-expressiva levou os alunos, a partir dos *passos de construção de modelo* (CAMILLETTI, 2001) usados também nos módulos anteriores, a desenvolver um que representasse a situação descrita na Parte 1. Estes *passos* têm o objetivo de levar o estudante a refletir sobre o fenômeno abordado, preparando-o para a construção e representação de um modelo inicial no papel e, após, no computador, representá-lo no ambiente de modelagem computacional: a representação informática é

entendida como o estágio final da representação de um fenômeno (FERRACIOLI, 2000). A Fig. 09 apresenta o material instrucional utilizado pelos alunos.

Representação Modelagem de Sistemas Físicos com Computador
Turma 02: 21-25/Julho/2003
Módulo Quarto: 2. Estruturação de Atividade de Modelagem

MÓDULO CINCO

2. ESTRUTURAÇÃO DE ATIVIDADE DE MODELAGEM

Dupla: _____ e _____

1º PASSO - ESTABELECIMENTO DO SISTEMA A SER ESTUDADO.
↳ Descreva qual o sistema a ser estudado.

2º PASSO - DETERMINAÇÃO DO FENÔMENO DE INTERESSE
↳ Descreva qual o fenômeno de interesse:

3º PASSO - LISTAGEM DAS VARIÁVEIS IMPORTANTES
↳ Faça uma lista das variáveis importantes para o desenvolvimento do modelo.

4º PASSO - TRADUÇÃO DAS VARIÁVEIS LISTADAS PARA AS VARIÁVEIS DOS DIAGRAMAS DE FLUXO
↳ Traduza as variáveis listadas para a forma de variáveis de Diagramas de Fluxo

5º PASSO - CONSTRUÇÃO DO MODELO ATRAVÉS DOS DIAGRAMAS DE FLUXO.
↳ Desenhe o Diagrama de Fluxo para este sistema:

6º PASSO - REPRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA DE FLUXO NO AMBIENTE STELLA E SIMULAÇÃO
↳ Represente o Diagrama de Fluxo no STELLA:

- Atribua as Condições Iniciais necessárias para a simulação do modelo construído.
- Simule o modelo para sua validação

UFSC/CCB/RS/Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva - www.modelab.ufsc.br

Fig. 09 - Passos para construção de modelos.

III.4.3 Módulo 5 – Parte 3: A atividade de modelagem exploratória

Nesta última parte foi realizada a atividade exploratória sobre o fenômeno de colisões, a partir do Módulo Educacional descrito na seção III.3.

III.5 Amostragem

O presente estudo foi inicialmente delineado para uma amostragem constituída de estudantes da disciplina Física Experimental I pelo fato desses alunos já terem estudado o tema de forma teórica e experimental. No entanto, o público alvo foi alterado devido a dificuldades ocasionadas por uma greve no meio do primeiro semestre de 2003. Dessa forma, participaram do curso 28 estudantes universitários, sendo 27 alunos do primeiro período do curso de Física e 1 aluno do terceiro período do curso de Ciências Biológicas, todos pertencentes à Universidade Federal do Espírito Santo. Assim, devido ao fato da amostra ser constituída de estudantes do primeiro período do curso e a greve ter interrompido as atividades acadêmicas no início do semestre letivo, seu conhecimento de Física era de nível de Ensino Médio. Esses alunos foram divididos em 14 duplas, formando 3 turmas ao todo, para as quais foram ministrados os 5 módulos anteriormente descritos. Para o desenvolvimento das atividades, uma breve revisão sobre o *Fenômeno de Colisões* foi apresentada aos alunos.

IV. Análise de dados

Os dados coletados no Módulo 5 foram separados em três categorias: a primeira relativa às respostas ao questionário sobre o tópico de Colisões, a segunda relativa ao desenvolvimento dos modelos na atividade semi-expressiva e a última relativa à avaliação do Módulo Educacional, sendo somente a segunda categoria de dados objeto deste artigo. Nessa segunda categoria procedeu-se a análise das respostas dos estudantes a partir dos *passos de construção de modelos* apresentados na Figura 09 e dos modelos construídos ao longo da busca do aluno por um que pudesse representar o fenômeno. Dessa forma, os dados coletados são de natureza qualitativa e o procedimento foi baseado na técnica de análise de conteúdo (BARDIN, 1977) a partir da categorização das respostas.

IV.1 Análise do 1º passo - Estabelecimento do sistema a ser estudado e 2º passo – Determinação do fenômeno de interesse

A maioria dos 28 estudantes da amostra que preencheram o questionário identificou corretamente tanto o sistema em estudo quanto o fenômeno de interesse. Desse total, 20 alunos responderam corretamente sobre o sistema a ser estudado e 2 erraram a resposta sobre o fenômeno de interesse relacionando-o com a energia cinética dos corpos antes e depois da colisão.

Os outros 8 estudantes da amostra confundiram os conceitos de *sistema a ser estudado* e *fenômeno de interesse*, identificando o primeiro como a *colisão entre os dois corpos*. Além desse fato, 7 deles também identificaram inadequadamente o *fenômeno de interesse* como o *estudo do comportamento dos corpos e das variáveis*.

do sistema antes e depois a colisão. O último estudante identificou o *fenômeno de interesse* como o *sistema em estudo*, isto é, a *colisão entre os corpos*.

O enunciado do problema proposto, conforme descrito no item III.4.1, sugeria que o *sistema a ser estudado* era constituído de *dois corpos de massas M e m*, além de informar que o sistema era isolado e que o *fenômeno de interesse* era a *Colisões* dos corpos.

IV.2 Análise do 3º passo – Listagem das variáveis importantes

Ao listar as variáveis importantes para modelar este fenômeno, os alunos diversificaram suas respostas, sendo que uma dupla parou suas atividades a partir desse passo por dificuldades em entender o que era proposto. Somente 2 estudantes listaram todas as variáveis necessárias para o desenvolvimento de um modelo básico no ambiente STELLA: *posição, velocidade, massa, momento linear e energia cinética*. Os demais listaram diferentes variáveis relevantes ao problema da Colisão as quais, em geral, estão presentes nas fórmulas que descrevem esse fenômeno. Este fato parece indicar que os alunos, quando solicitados a refletir sobre um fenômeno em termos de variáveis relevantes, tendem a prender-se às fórmulas das grandezas físicas que o descrevem. A omissão de algumas variáveis pode causar dificuldade para os alunos durante o desenvolvimento de seu modelo.

IV.3 Análise do 4º passo – Tradução das variáveis listadas para as variáveis dos diagramas análise de fluxo

Para a construção do modelo no Ambiente de Modelagem Computacional STELLA, é necessária a tradução das variáveis relevantes listadas para as variáveis dos tipos *Nível* e *Taxa*, linguagem essa pertencente aos Diagramas de Fluxo (FORRESTER, 1968) que é solicitada ao estudante antes dele iniciar a modelagem no ambiente computacional.

De modo similar ao passo anterior, observa-se neste passo uma grande diversidade quanto à classificação das variáveis físicas na linguagem dos Diagramas de Fluxo. A maioria dos alunos aparentemente encontrou alguma dificuldade em identificar e estabelecer o tipo de relação existente entre as variáveis e, consequentemente, traduzi-las adequadamente.

Muitos alunos não seguiram a ordem sugerida na estruturação da atividade e tentaram modelar o problema diretamente no ambiente STELLA - 6º passo - para depois classificar cada variável de acordo com o modelo construído - 4º passo. Tal fato pode revelar-se prejudicial para a construção do modelo, pois o aluno deixa de raciocinar sobre as variáveis e suas relações e, consequentemente, de analisar se a estrutura do modelo representa satisfatoriamente o fenômeno em estudo a ser representado no ambiente STELLA. Dessa forma, atividade de modelagem pode perder sua

perspectiva de aprendizagem exploratória reduzindo-se a uma atividade de aprendizagem mecânica (FERRACIOLI, 2000).

IV.4 Análise do 5º Passo – Construção do modelo através dos diagramas de fluxo e 6º passo – Representação do diagrama de fluxo no ambiente de modelagem e simulação

Neste tópico, a análise será feita a partir dos modelos desenvolvidos pelas duplas de alunos diretamente no Ambiente STELLA. Para proceder a análise, a Fig. 10 apresenta o modelo básico apropriado para representar o problema proposto.

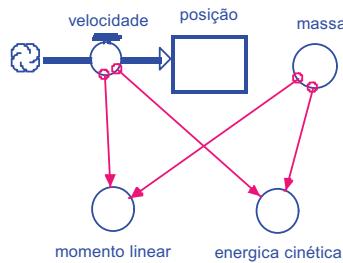


Fig. 10 - Diagrama de Fluxo básico apropriado para resolver o problema proposto representado no Ambiente de Modelagem Computacional STELLA.

Este modelo representa apenas o movimento do primeiro corpo antes da colisão. É importante ressaltar que a topologia deste modelo é a mesma do Movimento Retilíneo Uniforme de uma partícula acrescida da constante *massa*. Os outros dois conversores, *Momento* e *Energia Cinética*, são funções dos valores de *Velocidade* e *Massa*. A invariância topológica de modelos é uma característica do estudo de eventos físicos com o enfoque nos conceitos de modelos e modelagem.

A partir da análise de cada modelo, foi possível separá-los em categorias de acordo com características comuns que serão discutidas nas próximas seções. Os modelos foram representados de forma simplificada para facilitar o seu entendimento.

IV.4.1 Modelos baseados em fórmulas

Como forma de resolver o problema proposto, o modelo construído foi o de uma variável do tipo taxa *velocidade* conectada à variável *momento*, como mostra a Fig. 11.

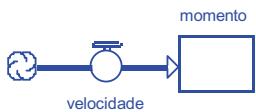


Fig. 11 - Modelo Tipo 1.

O procedimento adotado no desenvolvimento desses modelos parece indicar que eles foram construídos baseados na equação que descreve o fenômeno em questão:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

De forma semelhante, a variável tipo nível *momento* foi substituída pela variável *energia cinética*, como mostra a Fig. 12.

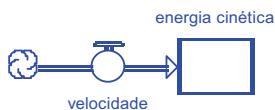


Fig. 12 - Modelo Tipo 2.

Neste caso, há um indicativo de que o modelo foi baseado na equação da energia cinética:

$$k = \frac{1}{2}mv^2.$$

Embora os Modelos Tipo 1 e 2, representados no ambiente STELLA, não reflitam diretamente as equações acima, eles explicitam como o momento linear e a energia cinética a dependem diretamente da velocidade.

IV.4.2 Modelos baseados no operador derivada

Como dito anteriormente, o ambiente STELLA trabalha essencialmente com modelos dinâmicos baseados em variáveis dos tipos *nível* e *taxa*. Estas últimas, como o próprio nome sugere, representam variações temporais e são traduzidas nesse ambiente pelo operador $\frac{d}{dt}$. No entanto, durante o curso, esse enfoque matemático que visa levar o estudante a desenvolver a capacidade de estabelecer relações causais entre as variáveis relevantes para o problema a partir da linguagem dos Diagramas de Fluxo não foi ressaltado.

Apesar desse enfoque não matemático nas atividades de modelagem durante o curso, os estudantes aparentemente tentaram usar essa característica do ambiente de modelagem STELLA e criaram modelos nos quais uma variável do tipo taxa *energia cinética* foi conectada a uma do tipo nível *momento linear*. Na construção desse modelo foram inseridas variáveis possivelmente consideradas mais significativas para o fenômeno, como mostra a Fig. 13.



Fig. 13 - Modelo Tipo 3.

Uma das duplas explicou o Modelo Tipo 3 manipulando a fórmula de energia cinética do seguinte modo:

$$k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\frac{dk}{dv} = mv = p \therefore$$

$$\frac{dk}{dv} = p .$$

Isso parece indicar que, ao relacionar a variável taxa do ambiente STELLA ao operador derivada, o aluno busca alguma relação diferencial alternativa à temporal para a construção de seu modelo.

IV.4.3 Modelos baseados em saldos finais de grandezas

Na busca de um modelo que represente o *momento linear total* do sistema, aparentemente os alunos baseiam-se na soma dos momentos lineares de cada corpo do sistema seguindo a equação:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 .$$

Dessa forma, foi definido o Modelo Tipo 4, mostrado na Fig. 14, no qual à variável tipo nível *momento do sistema* são conectadas duas outras tipo taxa: *momento1* – para o primeiro corpo – e *momento2* – para o segundo corpo.



Fig. 14 - Modelo Tipo 4.

Ao definir o valor inicial da variável tipo nível *momento do sistema*, os alunos evidenciam essa busca, pois a definem como:

$$\text{momento do sistema} = \text{momento1} + \text{momento2}$$

De forma análoga, foram construídos modelos para a energia cinética total baseados na soma da energia cinética de cada corpo do sistema, como mostra a Fig. 15.

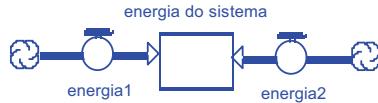


Fig. 15 - Modelo Tipo 5.

Entretanto, no ambiente STELLA esse tipo de relação não representa uma soma entre essas duas grandezas. Desse modo, os Modelos Tipo 4 e 5 parecem indicar algumas dificuldades relacionadas ao domínio da ferramenta de modelagem utilizada.

Outras variações são os Modelos Tipo 6 e 7, que utilizaram variáveis do tipo conversor para representar o saldo total do *momento linear* (Fig. 16), ou a *energia cinética* (Fig. 17) de cada corpo.



Fig. 16 - Modelo Tipo 6.



Fig. 17 - Modelo Tipo 7.

Essa representação para o momento linear ou energia cinética do sistema é mais coerente com o ambiente STELLA, uma vez que o conversor aceita o estabelecimento de soma entre duas grandezas ao longo da simulação.

IV.4.4 Modelos baseados na topologia do movimento retilíneo uniforme

Esses modelos apresentam a mesma topologia do modelo para o movimento retilíneo uniforme (MRU) e, usando as relações $\vec{p} = m\vec{v}$ e $k = \frac{1}{2}mv^2$, representam também as variáveis *momento linear* e *energia cinética* através de uma variável do tipo conversor, como mostra a Fig. 18.

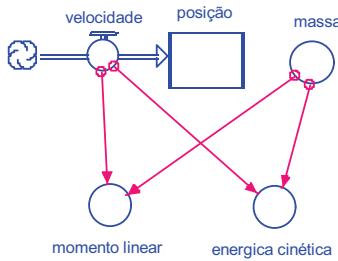


Fig. 18 - Modelo Tipo 8.

Analizando os modelos desenvolvidos pelos alunos, verifica-se que poucos chegaram a essa representação. No entanto, o Modelo Tipo 8 é o mais coerente para representar o problema proposto, apesar de não representar o sistema antes e depois da colisão. É importante observar que ao construir esse modelo o aluno demonstra habilidade de associar dois fenômenos distintos, *Colisões* e *MRU*, e analisar que a topologia utilizada poderia ser a mesma para as duas situações.

IV.5 O Processo de construção dos modelos: Comentários sobre as versões construídas

Nesta seção serão apresentados e comentados os modelos construídos por quatro duplas durante a atividade semi-expressiva do *Módulo 5*. Cada dupla criou versões intermediárias diferentes na busca de uma final que pudesse representar o fenômeno em estudo, ou seja, cada versão é um aprimoramento da anterior.

As versões são apresentadas na seqüência de construção da dupla e cada modelo é apresentado a partir de comentários identificando as topologias utilizadas, ou seja, os tipos de modelos construídos, bem como as possíveis estratégias de raciocínio que levaram cada dupla à sua concepção.

IV.5.1 Processo de construção do modelo da dupla 1

Na primeira versão de modelo do fenômeno de Colisões que a dupla 1 salvou, mostrada na Fig. 19, identifica-se o *Modelo Tipo 1*, apresentado na seção IV.4.1, tanto para o momento linear do corpo 1, em vermelho (elementos sinalizados com o número 1), quanto para o do corpo 2, em verde (elementos sinalizados com o número 2). Todas as variáveis listadas pela dupla no 3º passo de construção do modelo foram representadas nesse modelo, com exceção da variável do tipo taxa x . Essa última aparentemente não possui significado físico e provavelmente foi inserida no modelo como forma de criar uma relação entre a variação do momento linear do corpo 1 e do corpo 2.

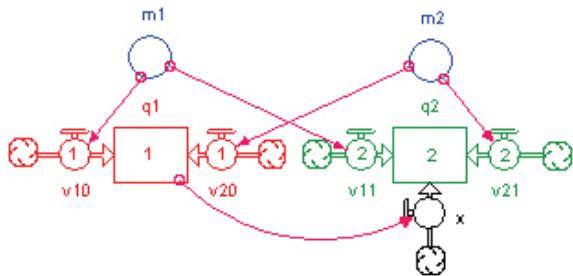


Fig. 19 - Primeira versão da dupla 1.

A segunda versão do modelo implementada pela dupla é mostrada Fig. 20.

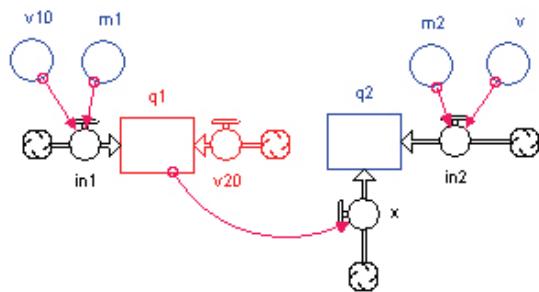


Fig. 20 - Segunda versão da dupla 1.

Aparentemente, a dupla avalia sua primeira versão do modelo e exclui algumas variáveis substituindo-as por outras novas denominadas *in1* e *in2*. Novamente essas variáveis parecem não ter significado físico e podem retratar uma provável tentativa de modelar a variação do momento linear dos dois corpos após a colisão.

A terceira versão é mostrada pela Fig. 21. Notam-se duas novas variáveis, *out1* e *out2*, adicionadas ao modelo. Provavelmente a dupla estava ciente de que o momento linear de cada corpo nesse fenômeno varia, podendo aumentar ou diminuir seu valor, e buscou representar essa situação com as variáveis *in* e *out*.

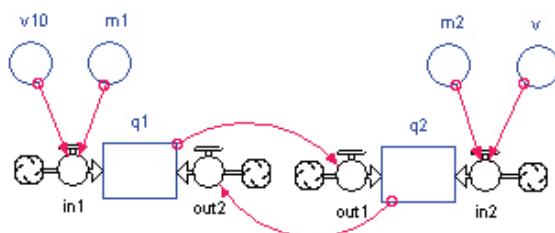


Fig. 21 - Terceira versão da dupla 1.

A dupla continuou encontrando dificuldades em vislumbrar um modelo que representasse o fenômeno de forma adequada e em sua quarta versão persistiu com as variáveis *in*. Nesse modelo, a dupla solicitou um gráfico para, possivelmente,

analisar a validade de seu modelo. A Fig. 22 mostra o quarto modelo implementado pela dupla e a Fig. 23 mostra o gráfico gerado a partir dessa versão.

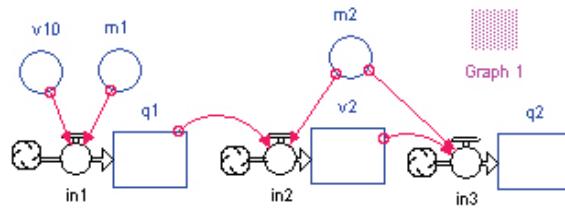


Fig. 22 - Quarta versão da dupla 1.

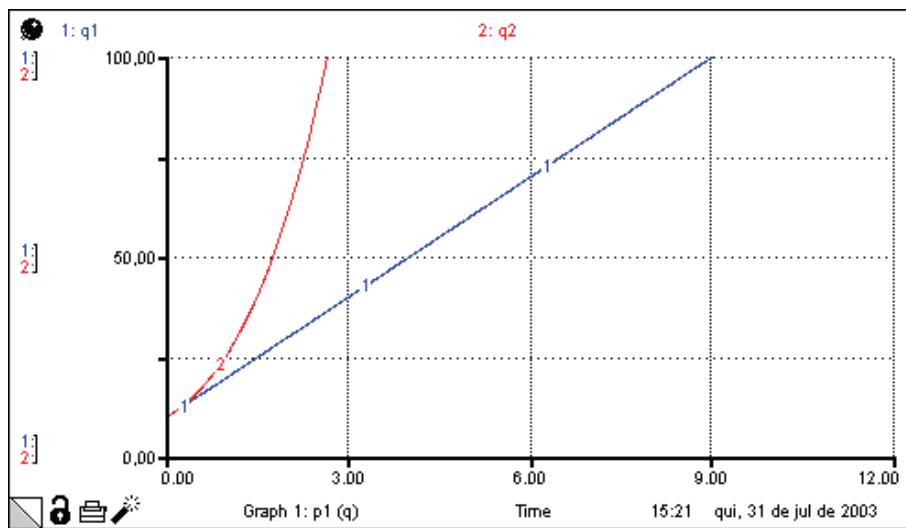


Fig. 23 - Saída gráfica da quarta versão da dupla 01.

O quinto e último modelo é simplificado e algumas variáveis foram retiradas. No entanto, a dupla persiste em representar a variável *in1*, que possivelmente foi uma tentativa de modelar o sistema antes e após a colisão, como pode ser observado na Fig. 24.

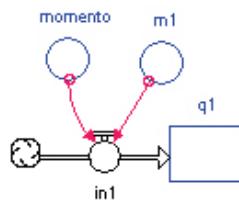


Fig. 24 - Quinta versão da dupla 01.

IV.5.2 Processo de construção do modelo da dupla 2

A dupla 2 construiu duas versões para o problema proposto. Na primeira utilizou essencialmente a topologia de *Modelo do Tipo 1* para representar a variação das velocidades dos dois corpos por meio de momento linear do sistema, como pode ser verificado pelos ícones em vermelho, sinalizados com o número 1, na Fig. 25. Todavia, a dupla não utiliza todas as variáveis que listou no 3º passo de construção do modelo como importantes para o desenvolvimento da atividade.

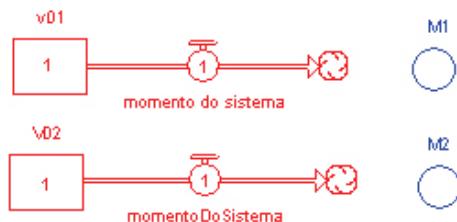


Fig. 25 - Primeira versão da dupla 2.

Possivelmente após verificar que seu primeiro modelo não atendia às características do fenômeno em estudo, a dupla construiu a segunda versão, mostrada na Fig. 26.

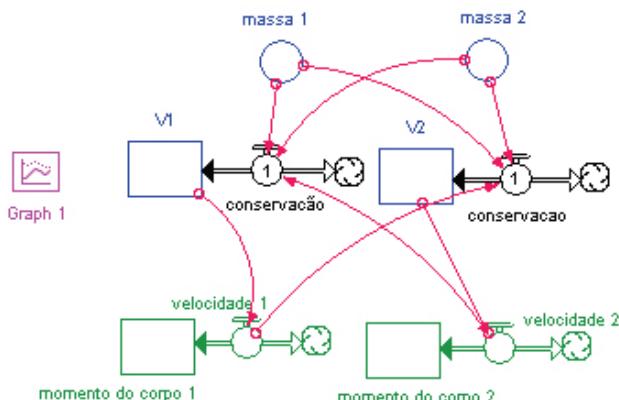


Fig. 26 - Segunda versão da dupla 2.

É importante observar a presença das variáveis tipo taxa *conservação* e *concervacao*¹, em preto, marcadas com o número 1, definidas respectivamente no modelo como:

$$\begin{aligned} \text{conservação} &= (16 - \text{massa } 2 * \text{velocidade } 2) / \text{massa } 1 \\ \text{concervacao} &= (16 - \text{massa } 1 * \text{velocidade } 1) / \text{massa } 2 \end{aligned}$$

¹ O Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo STELLA não aceita duas variáveis com o mesmo nome, daí as denominações *conservação* e *concervacao*.

De acordo com os valores das variáveis escolhidos pela dupla – $V1 = 4$; $massa1 = 1$; $V2 = 6$ e $massa2 = 2$ – o momento linear total do sistema é igual a 16 e com as definições de *conservação* e *convervacao*, nota-se que essas variáveis são derivadas da fórmula do momento linear total do sistema:

$$\text{momento_linear_do_sistema} = (\text{momento_corpo_1} \times \text{massa_1}) + (\text{momento_corpo_2} \times \text{massa_2})$$

Esse fato parece indicar que a dupla tentou encontrar uma maneira de construir um modelo que respeitasse a Lei da Conservação do Momento Linear do sistema, mesmo com a variação das velocidades.

IV.5.3. Processo de construção do modelo da dupla 3

A terceira dupla construiu duas versões de modelo para o fenômeno em estudo. No 3º passo de construção do modelo, a dupla cita como relevantes para o seu desenvolvimento as variáveis: *momento linear*, *energia cinética* e *massa*. Em sua primeira versão, mostrada na Fig. 27, não utilizou a variável *energia cinética* e acrescentou a variável tipo taxa *velocidade*. Nota-se ainda que a dupla utilizou a topologia de *Modelo do Tipo 1*, em verde, cujas variáveis estão sinalizadas com número 1, e *Tipo 4*, em vermelho, com variáveis sinalizadas com número 2.

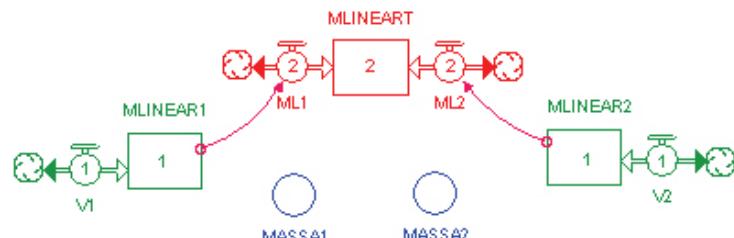


Fig. 27 - Primeira versão da dupla 3.

A dupla solicitou também uma saída gráfica (Fig. 28) como uma provável forma de validação de seu modelo. Possivelmente o gráfico gerado pelo modelo da Fig. 27 não foi o esperado pela dupla que construiu mais um modelo mostrado na Fig. 29.

Nessa segunda versão a dupla mantém o *Modelo do Tipo 4*, apresentado na seção IV.4.3, marcados com número 2, mas substitui o *Tipo 1* pelo *modelo Tipo 3*, em verde, marcados com número 1. Aparentemente essa foi a forma encontrada para inserir a variável *energia cinética* ao modelo e usar a variável *massa* e *velocidade*, encontradas também no modelo anterior. A dupla também solicitou uma saída gráfica para essa versão, Fig. 30, mas o resultado obtido não foi o esperado.

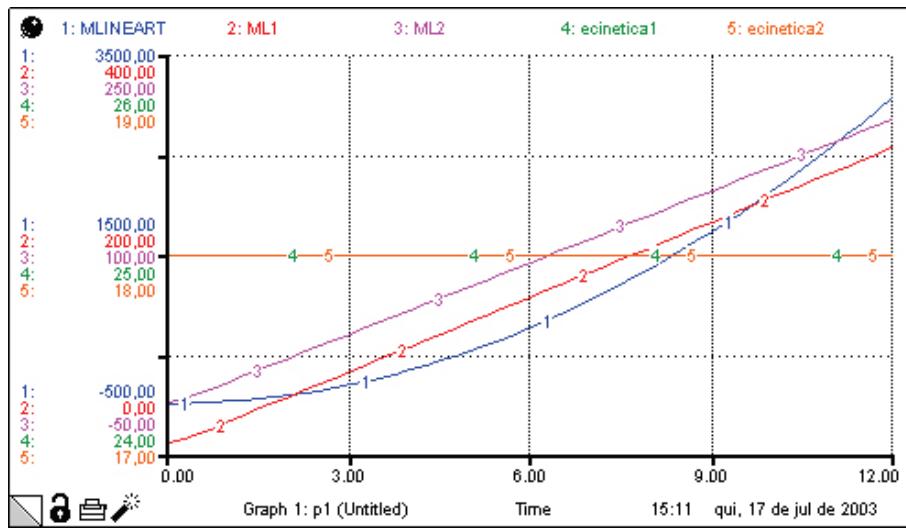


Fig. 28 - Saída gráfica da primeira versão da dupla 03.

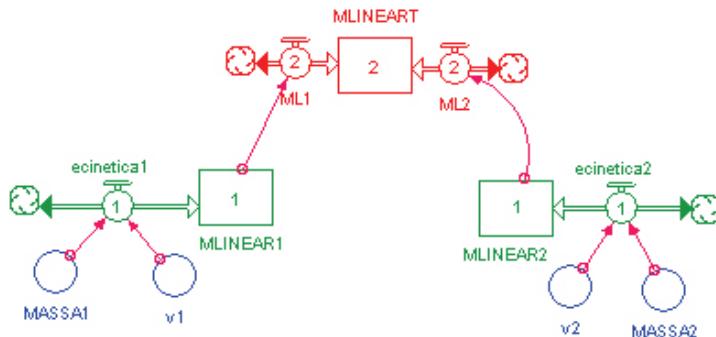


Fig. 29 - Segunda versão da dupla 3.

IV.5.4 Processo de construção do modelo da dupla 4

A dupla 4 construiu duas versões de modelo e, em ambas, utilizou todas as variáveis que listou como importantes para o desenvolvimento do modelo no 3º passo de construção: *massa e velocidade de cada corpo, posição, momento linear e energia cinética*.

Nota-se que esta dupla utilizou a topologia de *Modelo Tipo 8*, em verde (ícones com o número 1), apresentado na seção IV.4.4 e aparentemente o *Modelo Tipo 6* e *7*, em vermelho (ícones com o número 2). Nesta primeira versão, as variáveis *vel volta m, posicao volta m, vel de volta M e pos volta M* (em preto, marcadas com o número 3) parecem indicar uma forma de representar o fenômeno após a colisão.

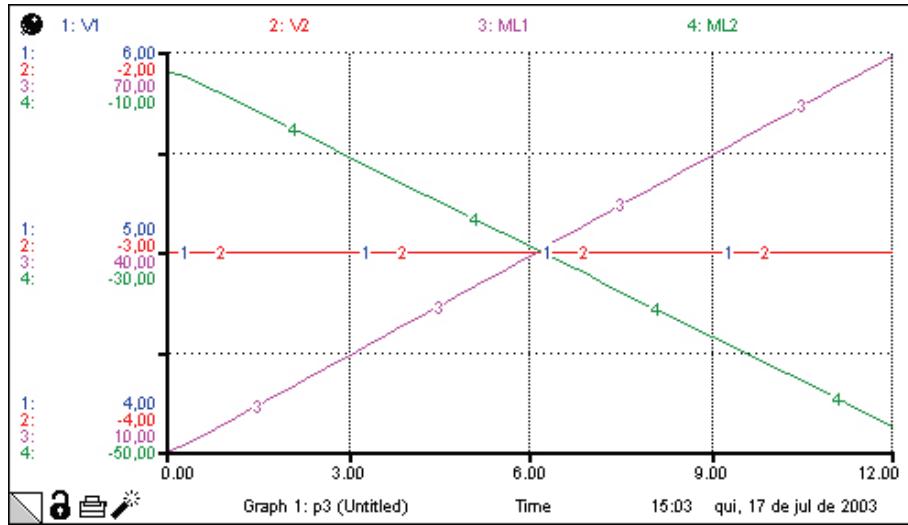


Fig. 30 - Saída gráfica da segunda versão da dupla 03.

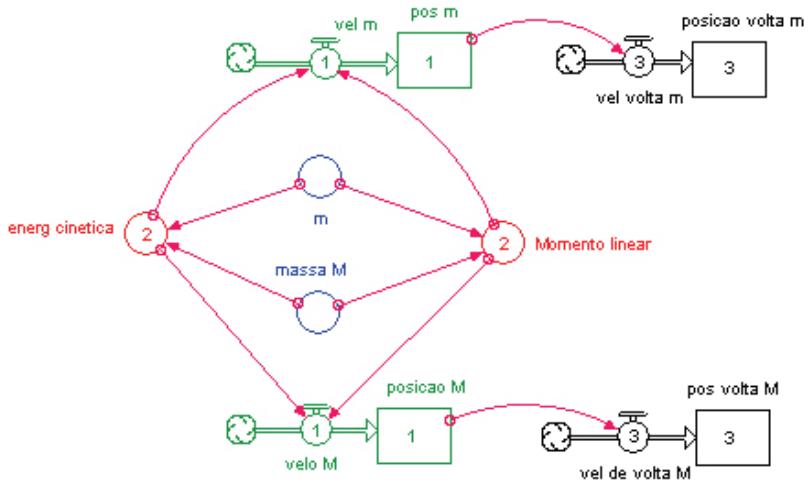


Fig. 31 - Primeira versão da dupla 4.

Na segunda versão do modelo, a dupla manteve a necessidade de acrescentar variáveis a fim de representar o sistema após a colisão dos corpos, variáveis em preto, sinalizadas com número 3 (Fig. 32). Contudo, conservou a estrutura construída na versão anterior, usando a topologia de *Modelo Tipo 8*, em verde (número 1) e *Tipo 6 e 7*, em vermelho (número 2). Tal fato parece indicar a compreensão do problema e de sua representação no Ambiente de Modelagem Computacional STELLA. A Fig. 32 mostra o segundo modelo construído pela dupla 4.

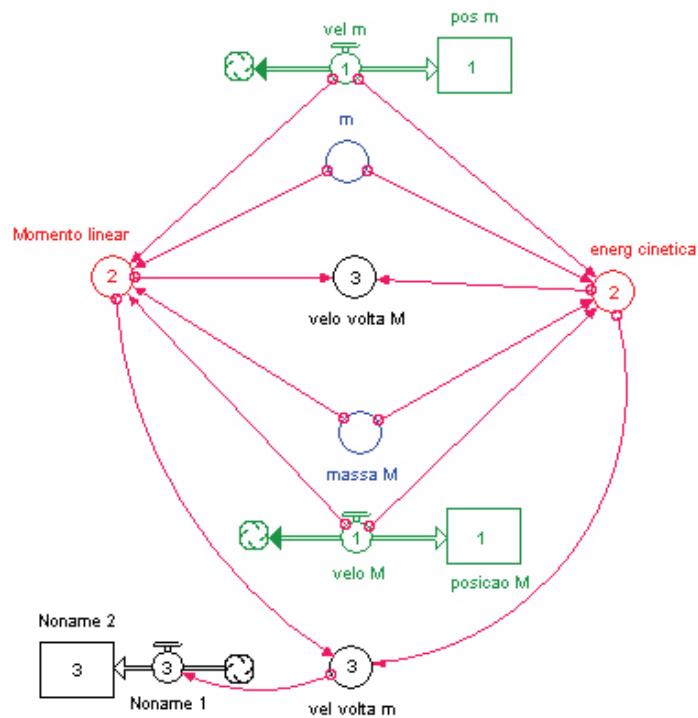


Fig. 32 - Segunda versão da dupla 4.

V. Discussão e conclusão

V.1 Sobre o desenvolvimento da atividade semi-expressiva

A atividade semi-expressiva foi estruturada a partir do *passos de construção de modelo*, cujo objetivo é levar o estudante a uma reflexão sobre o fenômeno em estudo para a construção e representação de um modelo inicial no papel e posteriormente representá-lo no ambiente de modelagem computacional. Conforme comentado anteriormente, o modelo computacional é entendido como o estágio final da representação de um fenômeno. Dessa forma, a análise das respostas dos estudantes a esses passos permitiu a inferência de algumas conclusões que são abordadas nesta seção.

O ensino tradicional da Física, via de regra, não explora a *delimitação do sistema em estudo* e a *identificação do fenômeno de interesse*, assume-se que o arranjo e a manipulação do sistema, com o estabelecimento das condições iniciais, *não* são parte do estudo uma vez que são fornecidos, a priori, sem uma discussão adequada. Esse fato é continuamente reafirmado através da proposição de problemas apresentados ao final de cada capítulo dos livros de Física: molas são comprimidas e colocadas em movimento sem que sejam mencionadas as fontes para o estabelecimento desses processos (FERRACIOLI, 1994). Essa situação pode ser observada ao longo da investigação.

Foi possível observar uma evolução dos estudantes ao longo do curso de modelagem: inicialmente, durante as primeiras atividades, muitos estudantes tiveram dúvidas quanto ao aspecto ressaltado no parágrafo anterior sendo que a maioria as considerou repetitivas. Na realização do módulo final sobre colisões, relatada neste artigo, desenvolvido após 12 horas de envolvimento com conceitos relacionados à modelagem computacional, foi possível observar uma evolução da maioria dos estudantes envolvidos no curso nesse aspecto.

Em relação à análise da listagem das variáveis relevantes ao desenvolvimento do modelo e da sua estrutura, feita pelas duplas, pode-se concluir que os alunos tendem a usar constantemente as fórmulas matemáticas que descrevem o fenômeno estudado, tentando representá-las em seus modelos através de conexões incoerentes. Esse fato foi relatado por Camiletti e Ferracioli (2001) e Pinto e Ferracioli (2002) e parece reafirmar que a utilização de um Ambiente de Modelagem Computacional quantitativo, que trabalha com construção de modelos baseados em variáveis, colabora com esse procedimento.

Os resultados da análise revelam a dificuldade dos alunos em traduzir as variáveis físicas relevantes para a construção do modelo para a linguagem do Diagrama de Fluxo. Como descrito por Camiletti e Ferracioli (2001) e Pinto e Ferracioli (2002), os estudantes não conseguem associar coerentemente o tipo de relação de dependência entre duas variáveis físicas às variáveis do Diagrama de Fluxo: a *variável do tipo taxa* causa a mudança ao longo do tempo da *variável tipo nível* que, por sua vez, retrata as variações do sistema provocadas pela *variável do tipo taxa*.

Esses resultados talvez tenham contribuído para que alguns alunos não seguissem os passos de construção do modelo e tentassem, sem sucesso, modelar o fenômeno diretamente no ambiente computacional. Esse procedimento revela-se prejudicial visto que o estudante deixa de raciocinar sobre as variáveis e relações que traduzem o fenômeno em estudo e, consequentemente, deixa de analisar se a estrutura do modelo construído o representa adequadamente. Conforme mencionado anteriormente, esse procedimento pode levar a atividade de modelagem a perder a sua perspectiva de aprendizagem exploratória, reduzindo-se a uma atividade de aprendizagem mecânica (FERRACIOLI, 2000).

Observa-se ainda que os alunos buscam representar as variáveis que consideram mais importantes para o fenômeno estudado como as do *tipo taxa* ou *nível*, evitando o trabalho com as *variáveis do tipo conversor* do ambiente STELLA, o que pode ser causado pelo enfoque dado às *variáveis taxa e nível* quando se trabalha com o Diagrama de Fluxo. Dessa forma, pode-se incluir em um próximo estudo o aperfeiçoamento do material instrucional de modo a trabalhar com mais exemplos abrangendo diferentes relações entre variáveis.

Esses resultados indicam a não trivialidade da utilização dos conceitos de modelos, modelagem e modelagem computacional nos processos de ensino e aprendizagem e que sua efetiva integração ao ensino da Física demanda a adequada preparação dos estudantes e professores para que esse empreendimento não se transforme em mais uma iniciativa frustrante para a comunidade escolar de maneira geral e, em específico, para o estudante, que é o ator principal deste processo.

V.2 Sobre o módulo educacional

De modo geral os estudantes mostraram-se interessados pelo Módulo Educacional sobre o fenômeno de colisões, analisando os resultados obtidos através da simulação e comparação dos resultados com o esperado, fato também relatado no estudo de Rabbi e Ferracioli (2002).

O desenvolvimento anterior de uma atividade semi-expressiva abordando o mesmo tema do módulo, conforme descrito na seção III.1, aumentou o envolvimento dos alunos nessa atividade, estimulando a discussão sobre a construção dos modelos apresentados e a reflexão sobre os seus próprios na atividade semi-expressiva.

De modo geral, os resultados relatados neste artigo indicam que a integração da tecnologia de informação e comunicação aos processos de ensino e aprendizagem em Física a partir dos conceitos de modelos, modelagem e modelagem computacional pode se constituir em uma estratégia promissora. Nesse contexto, o foco não é na tecnologia, mas sim em conteúdos curriculares específicos e, conforme mencionado anteriormente, a representação informática é entendida como o estágio final da representação de um fenômeno. Através da estruturação de atividades adequadas, o estudante pode ser levado a refletir sobre o seu conhecimento prévio em relação ao tema abordado, sobre as concepções que dão suporte a esse seu conhecimento prévio e sobre os conceitos científicos em estudo para promover sua evolução conceitual (FERRACIOLI, 2001).

Agradecimento

Trabalho parcialmente financiado pelo CNPq, CAPES e pelo FACITEC – Fundo de Apoio à Ciência e Tecnologia do Conselho Municipal de Ciência e Tecnologia do Município de Vitória, ES.

Referências

BARDIN, L. **L'Analyse de Contenu.** Paris: Presses Universitaires de France, 1977.

BLISS, J.; OGBORN, J. Tools for Exploratory Learning: A Research Programme. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 5, n. 1, p.37-50, 1989.

CAMILETTI, G. G. **A Modelagem Computacional Semiquantitativa no Estudo de Tópicos de Ciências**: Um Estudo Exploratório com Estudantes Universitários. 2001. 185f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas) - Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

CAMILETTI, G.; FERRACIOLI, L. A Utilização da Modelagem Computacional Quantitativa no Aprendizado Exploratório de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 214-27, out. 2001.

FERRACIOLI, L. Commonsense Reasoning About Processes: A Study of Ideas about Reversibility. 1994. Thesis (Ph.D.) - Institute of Education University of London, London.

FERRACIOLI, L. A Integração de Ambientes Computacionais ao Aprendizado Exploratório em Ciências. Projeto Integrado de Pesquisa nº 46.8522-00.0 financiado pelo CNPq. 2000.

FERRACIOLI, L. Aprendizagem, Desenvolvimento e Conhecimento na Obra de Jean Piaget: Uma Análise do Processo de Ensino-Aprendizagem em Ciências. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 80, n. 194, p. 5-18, 2001.

FERRACIOLI, L.; SAMPAIO, F. F. Informação, Ciência, Tecnologia e Inovação Curricular em Cursos de Licenciatura. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, n. 8, p. 83-88, abr. 2001.

FERRACIOLI, L.; CAMILETTI, G. Introdução ao Ambiente de Modelagem Computacional STELLA. Série Modelos, 01/98. Publicação Interna do ModeLab/UFES, 1998.

FORRESTER, J. **Principles of Systems**. Cambridge, Ma: Wright-Allen Press, 1968.

GONÇALVES, E. **Um Estudo da Modelagem Computacional Quantitativa através de Estruturas Causais Básicas**: Um Estudo Exploratório com Estudantes de Ensino Médio. 2004. 181f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas) - Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

MANDINACH, E. B. Model-Building and the Use of Computer Simulation of Dynamic System. **Journal of Education Computing Research**, v. 5, n. 2, p. 221-243, 1989.

NOVAK, J.; GOWIN, D. B. **Learning How to Learning**. Cambridge, Ma: Cambridge University Press, 1988.

OLIVEIRA, F. A Construção de Modelos Baseada na Utilização de Diagramas Causais no Estudo de Tópicos de Ciências: Um Estudo Exploratório com Estudantes de Ensino Médio. 2004. 238f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas) - Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

OGBORN, J. A Microcomputer Dynamical Modelling System. **Physics Education**, London, v. 19, n. 3, p. 138-142, mai. 1984.

OGBORN, J. A Future for Modelling in Science Education. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 6, p. 103-112, 1990.

OGBORN, J. Modelling Clay for Thinking and Learning. In: FEURZEIG, W.; ROBERTS, N. **Modelling and Simulation in Science and Mathematical Education**. New York: Springer-Ferlag, 1999.

PINTO, B. D. L.; FERRACIOLI, L. A Integração de um Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo no Laboratório de Física Experimental. In: SEMINÁRIO SOBRE REPRESENTAÇÕES E MODELAGEM NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM, 4, 2002, Vitória. **Anais...** Vitória: Mabor, 2003. p. 193-210.

RABBI, M. A.; FERRACIOLI, L. O estudo de métodos numéricos de integração através da modelagem computacional quantitativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, VIII, 2002, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: SBF, 2002. 1 CD.

RAMPINELLI, M.; MULINARI, M. H.; SILVA, T. R. Integrating technology in science education: a study based on system thinking. In: WORKSHOP RESEARCH ON MODELLING IN SCIENCE EDUCATION IMPLICATIONS FOR CURRICULUM AND EDUCATIONAL MATERIAL DEVELOPMENT, 1, 2003, Vitória.

RAMPINELLI, M.; OLIVEIRA, M.; FERRACIOLI, L. Proposta de desenvolvimento de modelos computacionais e estratégias para sua integração em disciplinas dos cursos de graduação em Física e Biologia. In: SEMINÁRIO SOBRE REPRESENTAÇÕES E MODELAGEM NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM, 4, 2002, Vitória. **Anais...** Vitória: Mabor, 2003. p. 247-252.

SAMPAIO, F. F. Modelagem dinâmica computacional e o processo de ensino-aprendizagem: algumas questões para reflexão. In: SEMINÁRIO SOBRE REPRESENTAÇÕES E MODELAGEM NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM,

2, 1999, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande: Fundação Universidade do Rio Grande, 1999. p. 15-26.

SANTOS, A. C. **Introdução à Modelagem Computacional na Educação.** 1. ed. Rio Grande: Editora da Fundação Universidade do Rio Grande, 1995.

SCHAFF, A. **A sociedade informática: as consequências sociais da segunda revolução industrial.** 3. ed. São Paulo: Brasiliense, 1992.

VITALE, B.; BÉGUIN, C.; GURTNER, J. L. Activités de Représentation et Modélisation dans une Approche Exploratoire de la Mathématique et des Sciences. **Petit X**, v. 38, p. 31-71, 1994.