
A UTILIZAÇÃO DA MODELAGEM COMPUTACIONAL QUANTITATIVA NO APRENDIZADO EXPLORATÓRIO DE FÍSICA

Giuseppi Camiletti
Laércio Ferracioli
Departamento de Física – UFES
Vitória – ES

Resumo

O artigo apresenta resultados preliminares da investigação sobre a integração de ambientes de modelagem computacional ao aprendizado exploratório de Ciências. Os resultados aqui apresentados são relativos ao estudo da interação e desempenho de alunos do Ensino Superior durante a utilização do ambiente de modelagem computacional quantitativo STELLA em uma atividade de conteúdo específico em Física. Os resultados revelam importantes aspectos sobre a utilização de ambientes de modelagem computacional na aprendizagem exploratória e estabelecem diretrizes para a continuidade da investigação.

I. Introdução

As ferramentas de modelagem vão desde papel e lápis (e.g. NOVAK & GOWIN, 1988) até a utilização de tecnologias interativas, como o computador (e.g. OGBORN, 1990). Se a versão em papel e lápis de um modelo revela sua natureza estática, onde é privilegiada uma visão instantânea da realidade física, a sua versão computacional é dinâmica, na medida em que o modelo pode ser ‘rodado’ e os resultados desse processamento, auxiliarem na reestruturação e melhoria do modelo inicial, possibilitando, dessa forma, vislumbrar a evolução temporal dessa mesma realidade física (FERRACIOLI, 1997a).

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 a sua efetiva utilização em sala de aula para que se possa concluir sobre as reais possibilidades de sua integração no cotidiano de sala de aula (FERRACIOLI, 1997b).

Assim sendo, este trabalho relata a primeira etapa de uma investigação sobre a utilização da modelagem computacional no contexto educacional relacionado ao ensino de Física em nível de Educação Superior. São apresentados os resultados das atividades desenvolvidas em um curso de extensão universitária sobre representação e modelagem de sistemas físicos com a utilização de um ambiente de modelagem computacional.

II. Objetivo

O objetivo desta etapa da pesquisa foi a observação da interação e desempenho dos alunos durante a utilização do Ambiente de Modelagem Computacional STELLA em uma atividade de conteúdo específico em Física.

III. Metodologia

O estudo foi desenvolvido a partir da estruturação de um curso de extensão intitulado *Representação e Modelagem de Sistemas Físicos com o Computador*. O curso foi oferecido para alunos de 1º e 2º períodos do curso de Física da Universidade Federal do Espírito Santo, durante o semestre 98/2.

III.1. O curso

O curso teve uma carga horária de 12 horas e foi estruturado a partir de uma metodologia que articula a fundamentação teórica do conteúdo curricular específico, o procedimento experimental e atividades de modelagem e simulação (FERRACIOLI & SAMPAIO, 2001). O tópico de estudo foi o sistema massa-mola e o material instrucional utilizado foi desenvolvido com um enfoque no conceito de modelagem (CAMILETTI et al, 1998).

O curso foi organizado em 04 módulos que foram ministrados ao longo de duas semanas de acordo com a programação abaixo.

Módulo 1 (03 horas) – Introdução ao Estudo de Sistemas Físicos a partir da Dinâmica de Sistemas.

Módulo 2 (03 horas) - Modelagem e Representação de Sistemas Físicos com o Ambiente de Modelagem Computacional STELLA.

Módulo 3 (03 horas) - O Estudo Experimental do Sistema Massa-Mola: O Oscilador Harmônico Simples.

Módulo 4 (03 horas) - Modelando e Representando o Oscilador Harmônico Simples no STELLA.







Dessa forma, através de atividades relacionadas ao conhecimento da Física, no primeiro módulo os alunos foram introduzidos aos conceitos de diagramas causais

(ROBERTS et al., 1983), modelagem dinâmica (FORRESTER, 1968) e à visão sistêmica para o entendimento e representação do tópico proposto (SANTOS, 1989; SAMPAIO & FERRACIOLI, 1997). No segundo módulo, os alunos passaram a utilizar diagramas de fluxo, que representam o elo de ligação entre a modelagem no papel e a modelagem computacional, e iniciaram as atividades de modelagem no ambiente STELLA. No terceiro módulo foi realizado um estudo teórico e experimental do Oscilador Harmônico Simples, com a utilização de um corpo preso a uma mola montado sobre um trilho de ar, conforme mostra a Figura 01, onde os alunos foram levados a determinar o valor da constante de mola. No quarto e último módulo, os alunos trabalharam de modo expressivo (BLISS & OGBORN, 1989) no ambiente de modelagem computacional STELLA, quando foram levados a construir um modelo que representasse o Oscilador Harmônico Simples. Inicialmente, o modelo era representado com o papel e lápis, onde eram estabelecidas as relações de causa e efeito entre as variáveis, utilizando a metáfora dos diagramas causais. O passo seguinte foi a representação desse modelo através dos diagramas de fluxo, seguida da representação do modelo no Ambiente de Modelagem Computacional STELLA.

III.2. O Ambiente De Modelagem Computacional STELLA

O ambiente de modelagem computacional STELLA – *STRUCTURAL THINKING EXPERIMENTAL LEARNING LABORATORY WITH ANIMATION* – (RICHMOND & PETERSON, 1990; FERRACIOLI & CAMILETTI, 1998) é um ambiente baseado nos Princípios de Sistemas (FORRESTER, 1968) e projetado para o estudo e construção de modelos através de uma representação gráfica baseada em ícones. O Quadro 01 apresenta um resumo dos ícones básicos da metáfora do STELLA.

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

| 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, significando que uma variável depende da outra dependendo da orientação da seta. |
|  | 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. |

Após a construção do modelo, é possível também visualizar as equações matemáticas de diferenças, geradas pelo STELLA, que governam o comportamento dinâmico das variáveis do modelo ao longo do tempo.

III.3. A modelagem do sistema massa-mola no STELLA

O sistema massa-mola utilizado neste estudo foi o de uma mola presa a um corpo apoiado em um trilho de ar, conforme representado na Fig.1. A partir do estudo teórico deste sistema, será apresentada uma evolução do processo de construção do modelo do mesmo no Ambiente de Modelagem Computacional STELLA, com o objetivo de auxiliar a leitura da análise dos dados apresentados no item 5. A descrição que segue é baseada nas atividades desenvolvidas pelos alunos no Módulo 03.

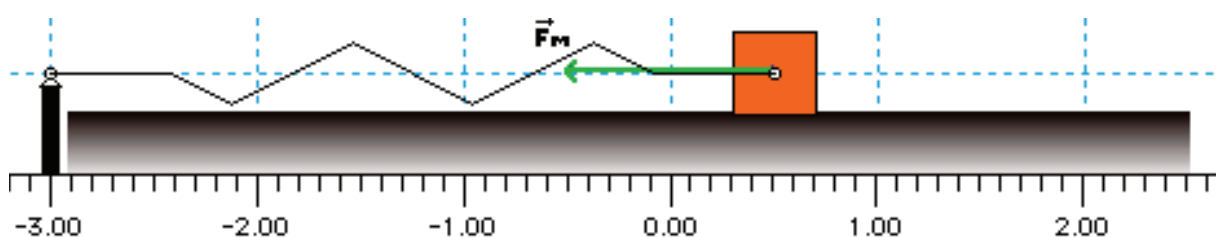


Fig.1 - Representação gráfica da estrutura física de um trilho de ar utilizado na realização do experimento

Uma força externa foi aplicada ao corpo e o deslocamento da mola foi medido, sendo os alunos solicitados a construir um gráfico de f vs. x com o objetivo de verificar a expressão matemática da força de mola que é $f = -kx$. De posse dessa expressão foi possível estabelecer a equação do Movimento Harmônico Simples, que é uma equação diferencial de segunda ordem, linear e homogênea, como mostrado abaixo.

$$\frac{d^2x}{dt^2}m + kx = 0 \quad (1)$$

Essa equação diferencial pode ser escrita por duas equações diferenciais de primeira ordem, lineares e homogêneas, que são:

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (2)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{kx}{m} \quad (3)$$

Através dessas equações e da escolha de condições iniciais para o sistema, como as mostradas abaixo, é possível construir o modelo computacional do Oscilador Harmônico no ambiente de modelagem computacional STELLA.


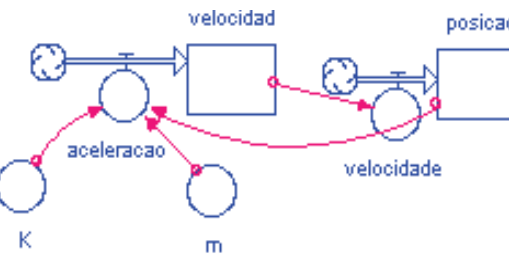
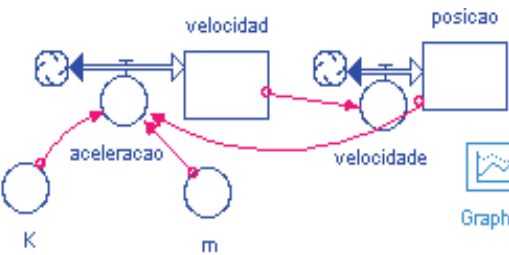
$$x(0) = 0$$

(Condições iniciais do Sistema) (4)

$$v(0) = v_0$$

O Quadro 02 apresenta o exemplo de evolução do processo de construção do modelo do sistema em estudo.

Quadro 02: Evolução do processo de construção do modelo do sistema massa-mola no ambiente de modelagem computacional STELLA

| | | |
|--|---|---|
| <p>1º</p> <p>P A S S O</p> |  | <p>No primeiro passo são criadas duas variáveis do tipo <i>nível</i>, denominadas velocidade e posição. A seguir são criadas as variáveis tipo <i>taxa</i>, denominadas aceleração e velocidade, e ligadas as variáveis velocidade e posição respectivamente.</p> |
| <p>2º</p> <p>P A S S O</p> |  | <p>No segundo passo são estabelecidas as conexões entre a variável posição, representada por um <i>nível</i>, e a variável aceleração, representada por uma <i>taxa</i>, e ainda entre a variável velocidade, representado por um <i>nível</i>, e a variável velocidade, representado por uma taxa. São criados também os <i>conversores</i> que representam K e m, que são conectados à taxa aceleração.</p> |
| <p>3º</p> <p>P A S S O</p> |  | <p>O último passo é estabelecer as relações entre as variáveis e as condições iniciais do sistema. A saída gráfica das variáveis posição, velocidade e aceleração é solicitada.</p> |

O STELLA permite a saída gráfica de qualquer variável. Assim, a Fig.2 apresenta a saída para as variáveis posição, velocidade e aceleração.

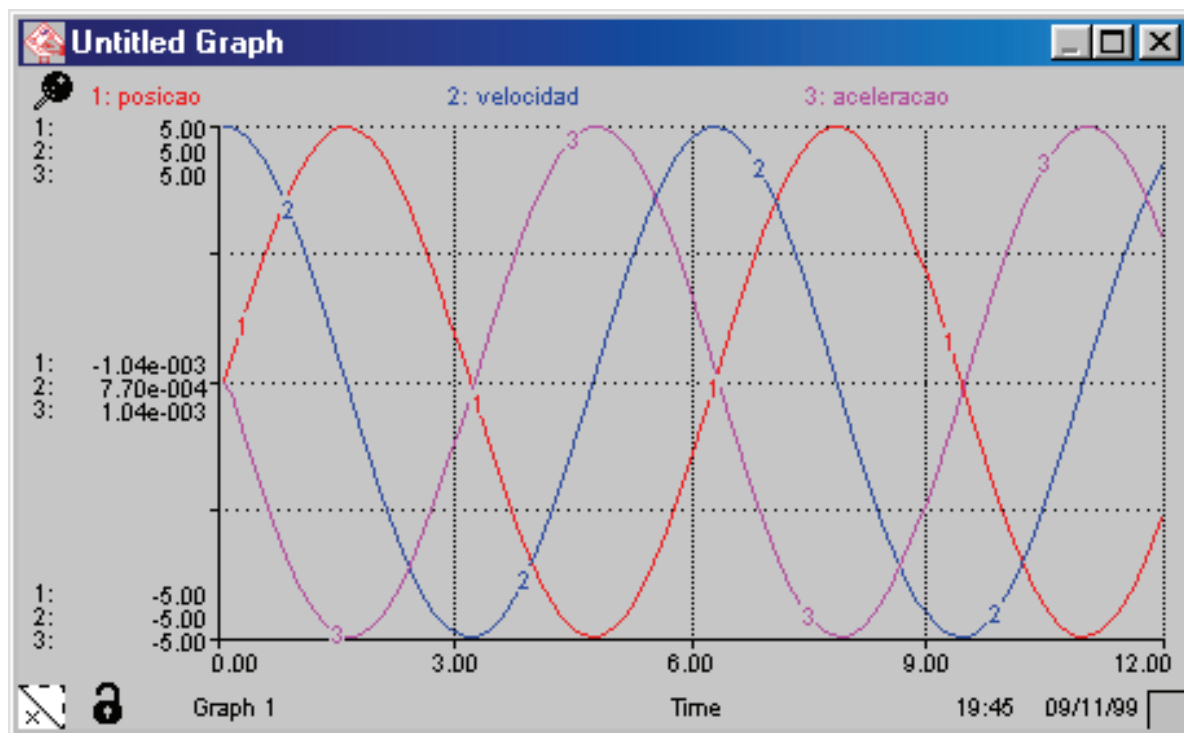


Fig.2 - Saída gráfica representando a variação das grandezas posição, velocidade e aceleração

III.4. Coleta de dados

No processo de desenvolvimento do modelo computacional, várias dificuldades são encontradas pelos alunos e, entre as principais, pode-se citar a falta de entendimento do conteúdo em estudo e do ambiente computacional. Conseqüentemente, a primeira tentativa de representação do sistema em estudo no ambiente de modelagem é, na maioria das vezes, incompleta e muitas vezes inconsistente.

Dessa forma, durante a evolução do processo de construção dos modelos pelas duplas, foi solicitado que cada versão do modelo construído fosse salva em disquete, para que fosse possível a análise da forma do modelo computacional construído e da maneira com que o conteúdo em estudo foi representado.

Assim, os dados deste estudo foram constituídos pela seqüência de modelos construídos por cada dupla, desde a primeira tentativa, até o modelo considerado por eles como a versão final.

IV. Análise de dados

Após o término do curso, os arquivos salvos por cada dupla foram organizados através de recursos computacionais elementares e numerados de 0 (zero) a

6 (seis) para a execução da análise qualitativa, que foi organizada de forma a abordar três aspectos dos modelos construídos:

- forma computacional;
- conteúdo do tópico em estudo;
- saídas gráficas.

Em relação à *forma*, a análise enfocou a evolução do processo de construção dos modelos, sob a ótica do ambiente computacional, observando o processo de tradução das variáveis físicas para o STELLA, as conexões estabelecidas entre elas e as dificuldades frente aos recursos da ferramenta. Em relação ao *conteúdo*, foi observada a maneira que as variáveis físicas do sistema em estudo eram consideradas e relacionadas, além de analisar a possibilidade de observar-se concepções do senso comum e modos de raciocínio do senso comum (FERRACIOLI, 1999) relativas a esse tópico. Na análise das *saídas gráficas*, foi observada a influência dessas sobre o processo de validação do modelo construído.

Para a realização da análise de dados foram utilizadas somente quatro duplas, uma vez que duas delas salvaram somente a versão final do modelo, não sendo possível tecer qualquer comentário sobre a evolução dos modelos. Assim, no próximo item, apresentamos os resultados da análise.

V. Resultados

Os quadros que seguem mostram a evolução do processo de construção dos modelos das quatro duplas. Esses são apresentados na seqüência temporal da evolução onde são feitos comentários sob os aspectos de forma e conteúdo. Dessa forma, inicialmente são apresentados os resultados das quatro duplas e ao final são apresentados os comentários sobre a análise.

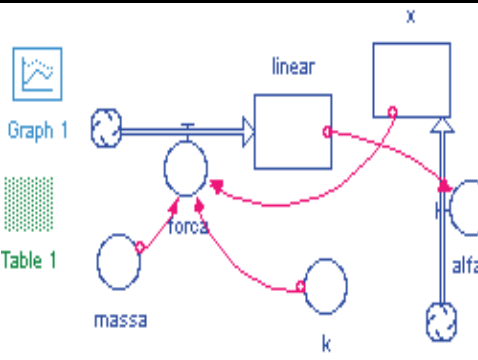
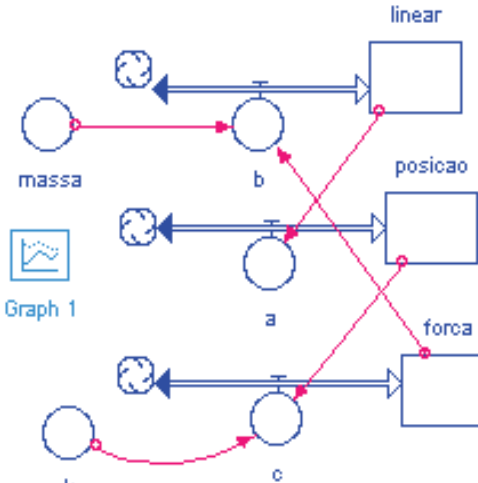
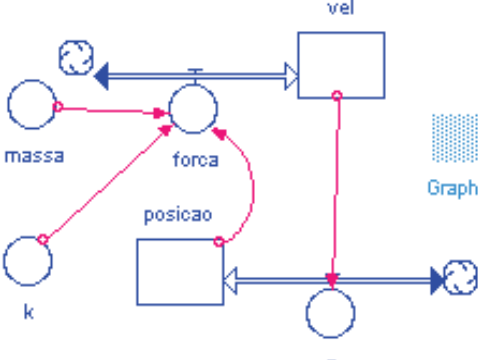
Quadro 03: Desenvolvimento do Modelo da DUPLA 1

| | | |
|--|--|---|
| V E R S Ã O 0 1 | | <p>CONTEÚDO: Existe uma possibilidade da dupla estar tentando expressar a dependência da posição com a velocidade e com a aceleração. A luz da Física, a posição depende diretamente da velocidade e indiretamente da aceleração.</p> <p>FORMA: A dupla realizou a tradução das variáveis físicas para as variáveis do STELLA de maneira correta, mas não as conexões entre elas.</p> |
|--|--|---|

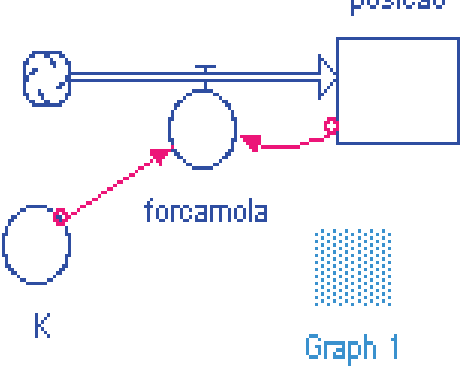
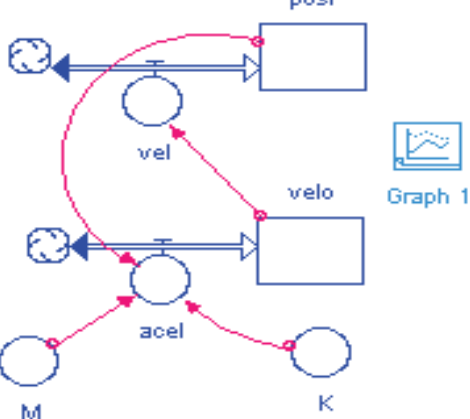
| | | |
|--|--|--|
| <p>V E R S Ã O 0 2</p> | | <p>FORMA: A estrutura foi modificada, e os <i>conectores</i> para representar a massa e a constante de mola K foram estabelecidos. Ao que tudo indica, a dupla ainda não teria atentado para o fato de que a velocidade também funciona como um <i>nível</i> para a <i>taxa</i> aceleração. Existe um indício de que a dupla não tem o claro entendimento do ambiente computacional. O intervalo de tempo entre esta versão e a anterior foi de 49 minutos.</p> |
| <p>V E R S Ã O 0 3</p> | | <p>FORMA: Esta última versão apresentada pela dupla representa o modelo do oscilador. Sabe-se que decorreu um intervalo de tempo de 16 minutos entre esta versão e a anterior, não sendo possível afirmar se houve versões intermediárias. Somente nesta versão foi solicitada a saída gráfica, que reflete uma versão consistente do sistema em estudo.</p> |

Quadro 04: Desenvolvimento do Modelo da DUPLA 2

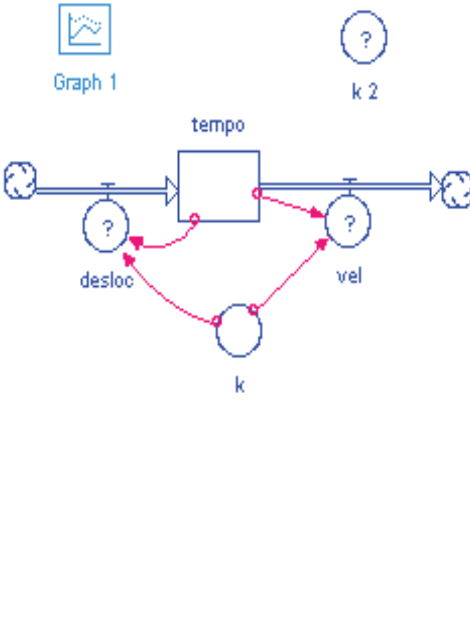
| | | |
|--|--|---|
| <p>V E R S Ã O 0 1</p> | | <p>CONTEÚDO: O <i>nível</i> força representa a expressão $f = -kx$, que é ligada à <i>taxa</i> aceleração que é, então, definida através da Segunda Lei de Newton.</p> <p>FORMA: O <i>nível</i> denominado força está sendo usado para representar a expressão citada acima. Isto é inconsistente, uma vez que, neste caso, ele deve ser usado para representar as condições iniciais do sistema. Isto é um indicativo do não entendimento do ambiente computacional. As outras variáveis foram representadas corretamente no STELLA, faltando estabelecer algumas conexões entre as mesmas. As saídas gráficas e de tabela foram solicitadas.</p> |
|--|--|---|

| | | |
|--|---|---|
| <p>V E R S Ã O 0 2</p> |  | <p>CONTEÚDO: A estrutura foi modificada com a troca do <i>nível</i> velocidade por momento linear e da <i>taxa</i> aceleração por força.</p> <p>FORMA: A estrutura do modelo está correta. Falta estabelecer as opções <i>biflow</i> e <i>non-negative</i>. No entanto, essas opções não foram estabelecidas, como pode ser percebido através do modelo ao lado. Conseqüentemente, o gráfico solicitado não é do movimento harmônico simples. Isso pode ter levado a dupla a concluir que o modelo não estivesse correto, levando-os a propor as alterações abaixo.</p> |
| <p>V E R S Ã O 0 3</p> |  | <p>CONTEÚDO: O modelo foi modificado, sendo que o <i>nível</i> força foi novamente incluído ao modelo, talvez na tentativa de representar a expressão $f = -kx$. No entanto, essa expressão foi definida na <i>taxa</i> denominada 'c'.</p> <p>FORMA: A representação descrita ao lado reflete o provável não entendimento da tradução das variáveis físicas para as variáveis do STELLA</p> <p>A dupla incluiu a opção <i>biflow</i>, mas não a opção <i>non-negative</i> no modelo.</p> <p>Após essas modificações, o gráfico foi solicitado e, também desta vez, não representou o movimento harmônico simples.</p> |
| <p>V E R S Ã O 0 4</p> |  | <p>CONTEÚDO: Nesta versão o modelo foi reestruturado, onde a variável força foi traduzida como <i>taxa</i> e o <i>nível</i> momento linear passou a ser denominado velocidade.</p> <p>FORMA: Nesta versão o modelo toma sua forma final. A saída gráfica representa o comportamento das variáveis do sistema.</p> |

Quadro 05: Desenvolvimento do Modelo da DUPLA 5

| | | |
|--|--|--|
| <p>V E R S Ã O 0 1</p> |  | <p>CONTEÚDO: Existe um indicativo de que a dupla tentou representar a expressão $f = -kx$, uma vez que a taxa força-mola foi definida desta maneira.</p> <p>FORMA: A tradução das variáveis físicas no STELLA está correta, embora o modelo não represente corretamente a relação física das variáveis representadas.</p> |
| <p>V E R S Ã O 0 2</p> |  | <p>FORMA: Esta já é a versão final do modelo, não sendo possível tecer nenhum comentário adicional sobre o caminho seguido da primeira versão para sua forma final. A informação disponível é que a dupla levou 58 minutos para concluí-lo.</p> |

Quadro 06: Desenvolvimento do Modelo da DUPLA 6

| | | |
|--|---|---|
| <p>V E R S Ã O 0 1</p> |  | <p>CONTEÚDO: Existe um indício de que a dupla tentou representar relações entre variáveis. No entanto, não é possível inferir qual o raciocínio usado para representar estes relacionamentos. A variável tempo, no estudo da Física, é trabalhada de forma explícita, embora no STELLA ela seja tratada de forma implícita.</p> <p>FORMA: Há indícios de que a dupla não entende muito bem que a simulação do modelo é feita tendo como variável independente o tempo. Assim sendo, não é necessário representá-lo como uma variável no modelo. A saída gráfica não foi solicitada.</p> |
|--|---|---|

| | | |
|--|--|--|
| <p>V E R S Ã O 0 2</p> | | <p>CONTEÚDO: Existe uma conexão entre a <i>taxa</i> vel e a <i>taxa</i> acel que, sob o ponto de vista da Física, faz sentido na medida em que a velocidade depende da aceleração.</p> <p>FORMA: No caso do STELLA, esta dependência não se dá dessa maneira, e existe um indício de que a dupla não compreende a maneira correta de representar tal dependência. É possível perceber, também, que a dupla tem dificuldades para estabelecer a <i>taxa biflow</i> e o <i>nível non-negative</i>.</p> |
| <p>V E R S Ã O 0 3</p> | | <p>FORMA: Esta última versão representa a forma final do modelo, sendo que a dupla não salvou versões intermediárias. A informação disponível é que o intervalo de tempo entre a primeira versão e esta foi de aproximadamente 2 horas. A saída gráfica foi solicitada.</p> |

V.1. Comentários sobre a forma computacional

A análise da evolução do processo de construção do modelo das duplas evidenciou dois aspectos importantes quanto à utilização e desempenho dos alunos frente à utilização do Ambiente de Modelagem Computacional STELLA:

- as duplas apresentaram dificuldade em fazer a tradução das variáveis físicas – *posição*, *velocidade* e *aceleração* – para as variáveis do STELLA – *nível* e *taxa*. Esse fato pode ser observado na Versão 02 da DUPLA 01 (vide Quadro 03), na Versão 03 da DUPLA 02 (vide Quadro 04) e nas Versões 01 e 02 da DUPLA 06 (vide Quadro 06) e reflete o não domínio do ambiente computacional de trabalho;
- praticamente todas as duplas encontraram dificuldades em estabelecer as características básicas de funcionamento das variáveis do STELLA, para que o modelo construído pudesse ser simulado adequadamente. Esse fato pode ser observado no caso de fixar a característica *biflow* para as variáveis tipo *taxa* e a característica *non-negative* para as variáveis tipo *nível*, que permitem que o

modelo apresente um comportamento oscilatório. Essas dificuldades podem ser observadas na versão 02 da DUPLA 02 (vide Quadro 04) e na Versão 02 da DUPLA 06 (vide Quadro 06).

V.2. Comentários sobre o conteúdo em estudo

A análise do conteúdo representado nos modelos construídos revelou um indicativo de que algumas duplas tentaram representar as expressões matemáticas, tais como foram apresentadas no material instrucional, e que algumas duplas tentaram estabelecer conexões entre variáveis no sentido de representar a dependência entre elas.

Outro aspecto relevante é que, embora não tenha sido possível um claro delineamento de concepções do senso comum, a estruturação de atividades que incluam a observação e questionamento dos alunos ao longo da evolução do processo de construção do modelo pode abrir a possibilidade para um estudo destas concepções.

V.3. Comentários sobre a influência das saídas gráficas

Durante o processo de construção do modelo, o aluno pode validar seu modelo, verificando se o resultado fornecido pelo modelo está de acordo com o observado na experiência. Uma vez que no presente trabalho foi realizado um estudo teórico e experimental sobre o tópico abordado com os alunos, eles já conheciam de antemão os possíveis resultados do processo de modelagem e o que esperar das saídas gráficas das variáveis do problema – *aceleração, velocidade e posição*. Assim, pode ocorrer que, quando uma versão do modelo computacional ainda não apresenta a estrutura correta, a saída gráfica não é a esperada e, conseqüentemente, ela torna-se uma valiosa informação à dupla: algo está inconsistente no modelo.

No entanto, é preciso ter cuidado com essa informação, pois pode levar o aluno a pensar que a estrutura do modelo não está correta, o que nem sempre é verdade. Em alguns casos somente um detalhe computacional está errado, como, por exemplo, *nível* com a opção *non-negative*, o que gera uma saída gráfica completamente diferente da desejada.

VI. Conclusão

Os resultados da análise dos modelos revelam diferentes aspectos sobre o comportamento e desempenho dos alunos durante a utilização do Ambiente de Modelagem Computacional STELLA no estudo de um conteúdo específico de Física, no caso o Oscilador Harmônico Simples.

A partir da análise da forma dos modelos construídos, pôde-se concluir que o domínio do ambiente computacional por parte dos alunos é de vital importância para que consigam concluir as atividades propostas. Assim, no caso do STELLA pode-se citar os seguintes aspectos fundamentais que o aluno deve dominar:

- tradução das variáveis da Física para as variáveis-metáfora do STELLA, como é o caso da aceleração ser traduzida em uma variável tipo taxa;
- domínio do uso de opções, tais como biflow para a variável tipo taxa e non-negative para a variável tipo nível;
- entendimento da possibilidade de uma variável ser do tipo nível e taxa ao mesmo tempo, como é o caso da variável velocidade no modelo do Oscilador Harmônico;
- estabelecimento das condições iniciais e relações entre as variáveis de um modelo construído.

Em relação à análise do conteúdo representado nos modelos construídos, pode-se concluir que existe um indicativo de que algumas duplas tentaram representar as expressões matemáticas tais como foram apresentadas no material instrucional. Um outro resultado é que algumas duplas tentaram estabelecer conexões entre variáveis no sentido de representar a dependência entre elas. Embora tenha sido possível observar o estabelecimento de algumas relações inconsistentes entre variáveis, não foi possível tecer qualquer conclusão final, se estas representariam concepções do senso comum ou modos de raciocínio do senso comum (FERRACIOLI, 1997b). Uma perspectiva futura de pesquisa é a estruturação de atividades de modelagem específica para a investigação desse tema.

No caso das saídas gráficas, estas se revelaram uma valiosa fonte de informação ao aluno, no sentido de validar o modelo construído, embora a efetividade desse fato esteja atrelada ao domínio do ambiente computacional.

De maneira geral, pode-se dizer que, apesar das dificuldades relatadas, a estratégia de se trabalhar em duplas permitiu aos estudantes construir seus próprios modelos e discutir idéias que os levaram a progredir no processo de construção dos modelos. Esses fatos são também relatados por Ogborn (1992) que ainda ressalta o fato de que os estudantes foram capazes de analisar interações básicas entre variáveis a partir de uma representação icônica de variáveis sem se preocupar com a relação funcional exata entre essas variáveis.

Os resultados deste experimento revelam que a utilização do ambiente de modelagem computacional STELLA no processo de ensino-aprendizagem pode ser promissora na medida em que as atividades de modelagem com esse ambiente computacional sejam devidamente estruturadas, no sentido de levar o aluno ao seu domínio para, então, levá-lo ao desenvolvimento da atividade de conteúdo específico em uma determinada área de conhecimento.

VII. Agradecimento

Este trabalho foi financiado parcialmente pelo CNPq, CAPES e pelo FACITEC/CMT/PMV – Fundo de Apoio à Ciência e Tecnologia do Conselho Municipal de Ciência e Tecnologia do Município de Vitória, ES.

VIII. Bibliografia

- BLISS, J. & OGBORN, J. (1989) Tools for exploratory learning, A Research Programme. *Journal of Computer Assisted Learning* 5:37-50.
- CAMILETTI, G.G; COUTINHO, H. & FERRACIOLI, L. (1998) Um estudo exploratório sobre a utilização da modelagem computacional no processo de ensino-aprendizagem. *Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis, 26-30/Outubro/1998.
- FERRACIOLI, L. (1997a) As novas tecnologias nos centros de ciências, nos centros de formação profissional e na formação de professores. In: *Atas do XII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 27-31/Janeiro/1997. p. 127-33.
- FERRACIOLI, L. (1997b) *A área de concentração Ensino de Física do Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo*. <http://www.modelab.ufes.br>
- FERRACIOLI, L. (1999) Aspectos da construção do conhecimento e da aprendizagem na obra de Piaget. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 16(2): 180-194.
- FERRACIOLI, L. CAMILETTI, G.G. (1998) Introdução ao ambiente de modelagem computacional STELLA (Versão Preliminar). *Série Modelos 01/98*, Vitória. Publicação Interna do Model@b/UFES.
- FERRACIOLI, L & SAMPAIO, F. F. (2001) Informação, Ciência, Tecnologia & Inovação Curricular em Cursos de Licenciatura. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 8(1): 77-85.
- FORRESTER, J. (1968) *Principles of systems*. Cambridge, Ma: Wright-Allen Press.
- NOVAK, J. & GOWIN, D.B. (1988) *Learning how to learning*. Cambridge, Ma: Cambridge University Press.
- OGBORN, J. (1992) *Modelling with the computer at all ages*. Publicação interna do Insitute of Education University of London.
- RICHMOND, B. & PETERSON, S. (1990) *STELLA II* [Computer Program]. Lyme, NH: High Performance Systems.
- ROBERTS, N. et all. (1983) *Introduction to computer simulation - a system dynamic modelling approach*. New York: Addison Wesley.

SAMPAIO, F.F. & FERRACIOLI, L. (1997) *A modelagem cognitiva e o processo de ensino-aprendizagem*. Curso ministrado no VIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. São José dos Campos, SP: Centro Tecnológico da Aeronáutica. 18-20/11/97.

SANTOS, A. K dos. (1989) STELLA no Modelamento de equações diferenciais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 6 (3): 211-223.