

**MODELAGEM COMPUTACIONAL NO ENSINO DE FÍSICA**

Eliane Angela Veit e Ives Solano Araujo

(eav@if.ufrgs.br e ives@if.ufrgs.br)

Instituto de Física – UFRGS

## MODELAGEM COMPUTACIONAL NO ENSINO DE FÍSICA

Eliane Angela Veit e Ives Solano Araujo

Resumo: Muitas vezes não fica transparente aos estudantes de Física, tanto de nível médio quanto universitário, o papel que os modelos científicos desempenham no desenvolvimento desta Ciência. Neste texto procuramos esclarecer o que são modelos científicos e como eles podem ser implementados em sistemas computacionais de modo a abrir novas perspectivas no aprendizado de Física.

Palavras-chave: Modelos científicos, modelagem computacional, fenômenos físicos, Modelus.

### 1. Introdução

A Física, assim como a Química e a Biologia, constituem as chamadas Ciências Naturais porque têm por objetivo descrever fenômenos da natureza. Dentre estas ciências, a Física é considerada uma das mais fundamentais, porque os fenômenos químicos e biológicos estão, essencialmente, ancorados em processos físicos. Por exemplo, como argumenta Nussenzveig (1993, p.3-5), a Química pode até ser considerada um ramo da Física, na medida em que se fundamenta na estrutura atômica, que é descrita pela Mecânica Quântica. É verdade que os problemas típicos da Química envolvem um número tão grande de átomos, que não podem ser tratados via primeiros princípios, exigindo métodos específicos da área. É inquestionável, porém, que as ligações atômicas e moleculares se devem a interações que se reduzem a processos físicos. Também a Biologia, especialmente a molecular, tem como elementos básicos, processos físicos. Por isto, Lederman, Prêmio Nobel de Física do ano 1988, lidera um movimento nos EUA para que as ciências naturais sejam introduzidas através da Física em vez de sua tradicional introdução via Biologia (Lederman, 2005).

A Física desempenha um papel fundamental no desenvolvimento científico, não só por estar na base das ciências naturais, mas também porque desde seus primórdios sua formulação se baseia na linguagem Matemática, que é precisa, exata, fornecendo métodos teóricos poderosíssimos, que permitiram avanços estupendos no século XX, a tal ponto que este foi considerado o século da Física. Não bastasse sua relevância para o desenvolvimento científico, também o desenvolvimento tecnológico depende fortemente da Física.

Mas de que trata o *trabalho coletivo* dos físicos, que produz o saber científico em Física? Essencialmente, físicos *criam* modelos científicos que podem descrever, representar e/ou prever fenômenos físicos com determinado grau de precisão.

Grifamos *trabalho coletivo* porque fazer ciência é, por essência, um trabalho coletivo. Ainda que alguns grandes progressos sejam decorrentes da inspiração, e muito esforço, de algum cientista em particular, o saber científico é uma construção eminentemente coletiva, onde aquilo que é definido como “verdade” tende a ser duradouro, apesar de inegavelmente evoluir ao longo do tempo.

Grifamos também *criam* porque é essencial dar-se conta que a Ciência tem origem na mente dos cientistas, ou seja, é uma construção humana que busca descrever o universo, elaborando teorias, modelos, testando hipóteses e as submetendo à avaliação empírica. Tais modelos não são cristalizados na sua forma de criação, mas reformulados, aprimorados ou abandonados, dependendo de seu sucesso na confrontação com resultados experimentais ou com raciocínios teóricos; apresentam contexto de validade e diferentes graus de precisão. Criar modelos científicos, verificar quão bem descrevem os fenômenos, determinar seu contexto de validade, aprimorar a precisão dos resultados e fazer previsões constitui a essência da práxis científica.

## II. E o que são modelos científicos?

De maneira muito geral e introdutória, podemos dizer que um modelo científico é uma descrição simplificada de um sistema físico idealizado, que é aceito pela comunidade científica. No caso da Física, esta descrição envolve tanto proposições semânticas, quanto modelos matemáticos subjacentes. Tais modelos científicos servem como ponte entre o mundo real, que é complexo, holístico, e um mundo idealizado e simplificado, existente apenas na mente dos cientistas, que preserva as características essenciais do sistema ou fenômeno que se pretende descrever, explicar ou prever (Greca e Moreira, 2002).

Tomemos alguns exemplos:

- *modelo do gás ideal*: supõe-se que o gás é constituído de partículas pontuais (toda a massa está concentrada em um ponto), que interagem via colisões perfeitamente elásticas. Não há na natureza tal sistema, esta é uma idealização dos físicos, que serve como ponto de partida para a descrição de propriedades características de gases, como pressão, volume e temperatura;
- *modelos de rotação e translação de planetas do sistema solar*: na descrição do movimento de translação dos planetas, estes são considerados como partículas pontuais, numa clara idealização dos físicos. Já na descrição do seu movimento de rotação, não faz sentido considerá-los como partículas, e passam a ser tratados como corpos esféricos, rígidos, ainda que se saiba que sua forma real não é esférica e tampouco são objetos rígidos;
- *Modelo do átomo de Bohr*: descreve os átomos como constituídos de um núcleo central, no qual há prótons e nêutrons, e de elétrons que orbitam ao redor deste núcleo. Em essência este modelo é análogo ao do movimento dos planetas ao redor do Sol. Sabe-se, atualmente, que este não é um bom modelo para o átomo, podendo se constituir, inclusive, em um obstáculo epistemológico para os alunos que passam a visualizar os elétrons como partículas pontuais que descrevem órbitas bem definidas, contrariando a visão probabilística da mecânica quântica (Moreira e Greca, 2004). Este é um belo exemplo de como a Ciência evolui e de que modelos considerados bons em determinada época, como é o caso do modelo de Bohr, podem deixar de sê-lo.

Em resumo, modelos científicos são ideais, na medida em que trabalham com objetos ou entidades que não têm existência real na natureza, e são simplificados, pois mantêm apenas as características essenciais dos sistemas ou fenômenos que se pretende representar. Em outras palavras, modelo científico é um análogo estrutural do sistema representado, não se constituindo em sua imagem especular, mas apenas incorporando as características e relações essenciais, de modo aproximado.

Outra característica indissociável da definição de modelo científico, é que ele deve ser aceito pela comunidade científica. O livre arbítrio dos físicos na criação de conceitos físicos e de suas relações não lhes confere autoridade para impor raciocínios subjetivos, idiossincráticos e/ou incoerentemente estruturados, ou seja, o conhecimento científico deve ser consensual entre a comunidade científica.

Neste ponto é interessante atentar para o fato de que há uma ampla gama de categorias para modelos (modelos metafísicos, conceituais, físicos, computacionais...) e dentro de uma mesma categoria não há uma única aceitação aceita (Krapas et al., 1998). De maior interesse para o que tratamos neste artigo, cabe salientar a existência de:

- *modelos mentais*, internos à mente das pessoas, que representam estados de coisas abstratos que mantêm alguma analogia estrutural com o que está sendo representado. No referencial de Johnson-Laird, os modelos mentais seriam construídos no desenvolvimento de um raciocínio, particularmente diante de uma situação nova, em substituição à lógica mental (Moreira, 1996). Estes modelos são tácitos e não podem ser explorados diretamente;

- *modelos conceituais*, utilizados para externalizar o que pensamos podendo ser comunicados de forma verbal, simbólica, pictórica ou via construção de artefatos físicos (Halloun, 1996). Estes modelos são, freqüentemente, subjetivos, idiossincráticos, e não-coerentemente estruturados. Através dos modelos conceituais pode-se fazer inferências sobre os modelos mentais.

Ao estudar um fenômeno, os físicos se concentram em um número limitado de características essenciais, constroem modelos conceituais, que usualmente são comunicados via linguagem matemática e proposições semânticas, mas também via diagramas e outros elementos pictóricos. Uma vez que estes modelos descrevem *certos fenômenos* conhecidos e os representam com o desejado *grau de precisão*, são aceitos pela comunidade científica e passam a ser considerados modelos científicos<sup>1</sup>.

Grifamos *certos fenômenos* porque não se tem a pretensão de que um modelo seja aplicável a qualquer domínio da Física. Eles são construídos para representar sistemas físicos que compartilham uma estrutura e/ou características comportamentais. Assim, diferentes áreas da Física dispõem de diferentes modelos científicos (ou físicos<sup>ii</sup>) e mesmo dentro de uma mesma área, os modelos físicos têm domínio de validade restrito. Por exemplo, um modelo para circuitos elétricos do tipo RC obviamente não terá validade para um circuito RLC. Grifamos igualmente *grau de precisão*, porque são inerentes à construção de um modelo científico as simplificações, que estão intimamente relacionadas ao grau de precisão com que os resultados gerados pelo modelo físico descrevem ou predizem os resultados experimentais. Os modelos podem ser aprimorados, de modo que com menos simplificações, tem-se resultados mais precisos. Por exemplo, o modelo mais simples para a descrição do movimento de uma massa presa a um fio fixo no teto, que oscila num plano vertical, é o modelo do pêndulo simples, em que se admite como hipótese que a massa é pontual, presa na extremidade de um fio sem massa e inextensível, e que não há resistência do ar. (Note-se que isto é uma idealização, não existe um pêndulo simples na natureza!) Poder-se-ia melhorar a precisão, não fazendo tantas simplificações, por exemplo, considerando a resistência do ar ou o tamanho da massa pendular.

### III. Modelagem de sistemas ou fenômenos físicos

Chamamos de modelagem de um sistema físico o processo cognitivo de construção de um modelo científico para descrevê-lo. Este processo, que habitualmente é guiado por uma teoria subjacente, é denominado por Halloun como modelagem esquemática<sup>iii</sup>. Segundo Halloun, modelos científicos são esquemáticos no sentido de que como outros esquemas científicos (conceitos, leis e outras estruturas compartilhadas pelos cientistas): (a) utilizam um número limitado de características básicas quase independentes das idiossincrasias individuais dos cientistas, e (b) são desenvolvidos e aplicados seguindo esquemas genéricos de modelagem.

A modelagem esquemática, proposta por Halloun (op. cit), ocorre em cinco estágios não-hierárquicos: seleção, construção, validação, análise e expansão. Os três estágios do meio sobrepõem-se, e alguns desses passos podem ser conduzidos simultaneamente. Em cada estágio, o modelador pergunta a si mesmo questões específicas e tenta respondê-las sistematicamente. A modelagem esquemática pode ser aplicada à solução de um problema acadêmico de física, tendo muito a contribuir no processo de aprendizagem por parte do aluno. Vejamos, então, a descrição dos vários estágios e alguns questionamentos típicos apresentados por Halloun (1996).

*No estágio de seleção* escolhe-se um modelo físico apropriado de um repertório de modelos familiares em uma teoria específica. A seleção é guiada pelo domínio de cada modelo e governada pelo propósito da modelagem e da validade requerida. Um exemplo é a descrição de um corpo que oscila, preso a um barbante. Como já mencionado, este problema pode, por simplicidade, ser tratado com um pêndulo simples, mas quais suas limitações? E se o fio for extensível? Estas são questões intrínsecas à seleção do modelo.

*No estágio de construção*, constroem-se modelos matemáticos que incorporam as leis e relações teóricas conhecidas e ajudam a resolver matematicamente o problema. Questões típicas desta etapa são: que coordenadas são mais apropriadas? Que parâmetros são requeridos? Que leis são aplicáveis?

*No estágio de validação*, que pode ser concomitante ao de construção, considera-se essencialmente a consistência interna do modelo, com perguntas do tipo: quão bem cada representação matemática corresponde ao seu equivalente no sistema físico de referência? As condições de contorno são satisfeitas?

A *análise do modelo* pode ser feita no sentido de verificar se todos os propósitos estão sendo contemplados com o modelo em construção. A análise do modelo na resolução de problemas do tipo livro-texto consiste primeiramente no processamento do modelo matemático, obtendo-se as respostas para as questões levantadas no problema e a interpretação e justificativa para as respostas. O modelo construído representa apropriadamente os objetos do problema ou da situação? A questão que se pretende responder está dentro do limite do modelo? Há propriedades secundárias representadas que poderiam ter sido desconsideradas?

A *expansão do modelo* inclui: i) uso de um dado modelo para descrever, explicar e/ou prever novas situações físicas pertencentes ao sistema em estudo; ii) inferir implicações para outros sistemas físicos de referência do modelo; iii) extrapolar o modelo para a construção de novos modelos. A expansão do modelo também inclui atividades reflexivas, onde o modelador examina e aprimora seu conhecimento em termos de sua experiência de modelagem. Perguntas típicas: Que aspectos do modelo e de sua solução reforçam o que já se esperava dele? Que aspectos complementam o que se esperava? Que aspectos parecem contradizer seus conhecimentos? Como se pode aplicá-lo a outras situações? Como generalizá-lo?

#### **IV. Modelagem computacional no ensino de Física: exemplos**

A modelagem computacional aplicada a problemas de Física transfere para os computadores a tarefa de realizar os cálculos - numéricos e/ou algébricos - deixando o físico ou o estudante de Física com maior tempo para pensar nas hipóteses assumidas, na interpretação das soluções, no contexto de validade dos modelos e nas possíveis generalizações/expansões do modelo que possam ser realizadas.

Entendemos a modelagem computacional aplicada à Física como a modelagem esquemática de Halloun, acrescida do uso do computador. Essencialmente, há dois tipos de atividades de modelagem, as exploratórias e as expressivas. Nas exploratórias, o aluno recebe um modelo computacional pronto, devendo explorá-lo através de cursores, ou inserindo valores iniciais para variáveis, alterando parâmetros e, até mesmo, modificando o modelo matemático ou icônico que dá origem ao modelo computacional. No modo expressivo, os alunos devem construir o modelo desde sua estrutura matemática ou icônica até a análise dos resultados gerados por ele. Neste modo, os cinco estágios da modelagem esquemática são transpostos, ainda que muitas vezes sem a devida consciência por parte do aluno. Todas as linguagens de programação e muitos *softwares* computacionais podem ser considerados como ferramentas para modelagem computacional.

Dentre as linguagens de programação, VisualBasic, Delphi e C++ ainda são as mais populares. LOGO - mais recentemente SuperLogo - foi desenvolvida especialmente com fins educacionais e há material disponível inclusive em português (Conceição, 2005). Java apresenta a vantagem de rodar em qualquer sistema operacional na rede e o *Easy Java Simulations*, desenvolvido por Esquembre (2005), facilita a construção de modelos computacionais em Java. Pode-se, também, a partir do JavaScript, incorporar farto material livremente disponível em JAVA na rede, dentre os quais o mais completo e versátil é o conjunto de aplicativos para Física do tipo *applets* (Physlets®) desenvolvidos no DAVIDSON COLLEGE (2005).

Dentre os *softwares* de modelagem<sup>iv</sup>, algumas categorias se destacam, tais como: planilhas eletrônicas (*StarOffice*, *Excel*); *softwares* que permitem cálculos algébricos e numéricos (e.g.,

*Mathcad, Mathematica, Matlab*); e *softwares* que permitem a implementação e análise de modelos representando processos sistêmicos (e.g. o *Visq, Stella* e *PowerSim*). Um *software* de particular interesse no ensino de Ciência é o *Modellus*, que não incluímos em nenhuma das categorias mencionadas, porque ele apresenta características especiais, conforme descrevemos na seção IV.1. Na seção V.2 apresentamos como um exemplo de recurso especial para a modelagem qualitativa, o *Powersim*, baseados na apresentação de Santos et al. (2002) para o *software* STELLA.

#### IV.1 A ferramenta de modelagem computacional quantitativa *Modellus*

O *software* *Modellus* (2005) é uma ferramenta de modelagem quantitativa, distribuída livremente, que permite ao usuário escrever modelos matemáticos, expressos como funções, equações diferenciais, equações a diferenças finitas ou derivadas, de modo muito semelhante ao que faria com papel e lápis, conforme é ilustrado na Figura 1. Até onde sabemos, este é o único programa de autoria para a criação de modelos matemáticos, que prescinde do uso de metáforas e/ou linguagens de programação, ao contrário do que ocorre com excelentes ferramentas de modelagem, como o *PowerSim, Visq, STELLA* e outras. O *Modellus* foi concebido sob a premissa de que se o estudante não domina a linguagem matemática o próprio *software* pode se constituir em uma ferramenta para auxiliá-lo na aprendizagem de conceitos matemáticos. Tomemos como exemplo a modelagem de um objeto que cai sob ação da gravidade. As equações que regem o movimento são escritas na janela Modelo - Figura 1 - e em outras janelas é possível visualizar três modos de representação: tabelas, gráficos e animações. Neste exemplo, os parâmetros de entrada e condições iniciais são atribuídos no estágio de construção do modelo e não podem ser alterados durante a sua execução. (Veja o lado direito da Figura 1.)

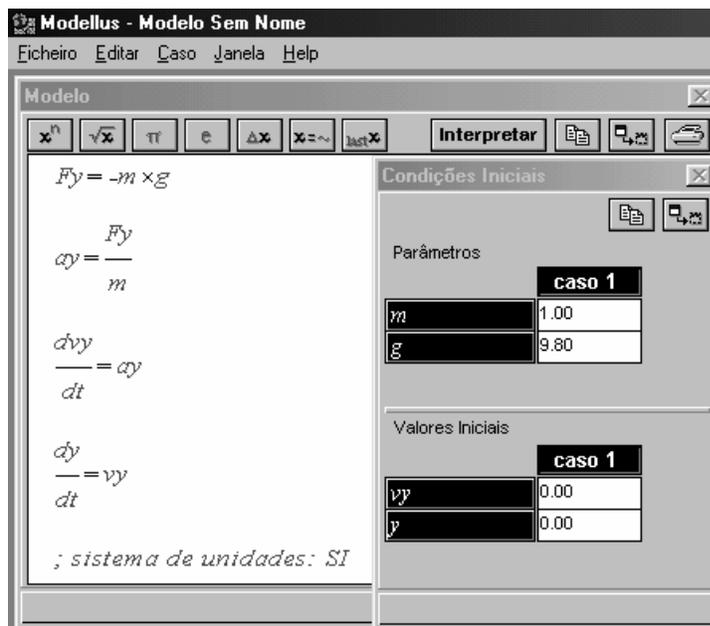


Figura 1 - Equações que regem o movimento unidimensional de uma partícula em queda livre, escritas no *Modellus*. À direita vê-se os parâmetros e valores iniciais atribuídos.

*Modellus* também permite que parâmetros e valores iniciais sejam alterados durante a execução do modelo, controlando-se cursores com o *mouse*. Para cada modelo construído, é possível criar cinco casos para os quais pode-se atribuir diferentes valores para os parâmetros e condições iniciais. Esta possibilidade visa enfatizar o fato de que o que caracteriza um modelo é o conjunto de equações que o regem, e não os valores dos seus parâmetros e condições iniciais.

Pode-se introduzir a resistência do ar no modelo da Figura 1, simplesmente reescrevendo a força que atua sobre o objeto. Por exemplo, admitindo-se que a resistência é proporcional à velocidade do objeto, a força na direção  $y$ ,  $F_y$ , será dada por:

$$F_y = -mg - bvy,$$

onde  $m$  é a massa do objeto,  $g$  a aceleração da gravidade,  $b$  o coeficiente de arraste,  $v$  a velocidade do objeto e  $y$  sua posição na direção vertical em relação à origem.

Neste caso, deixa de haver conservação da energia mecânica,  $Em$ , conforme pode ser visto no gráfico de  $Em$  contra  $t$ , apresentado na Figura 2. Pergunta-se: quantos alunos já se deram conta que a taxa com que a energia é dissipada não é constante no tempo? Questionar o aluno do porquê isto acontece, dando-lhe a chance de explorar com o modelo computacional como se comportam as outras grandezas envolvidas no problema, além de elemento motivador, pode se constituir em um auxílio para uma aprendizagem significativa do conteúdo de Física.

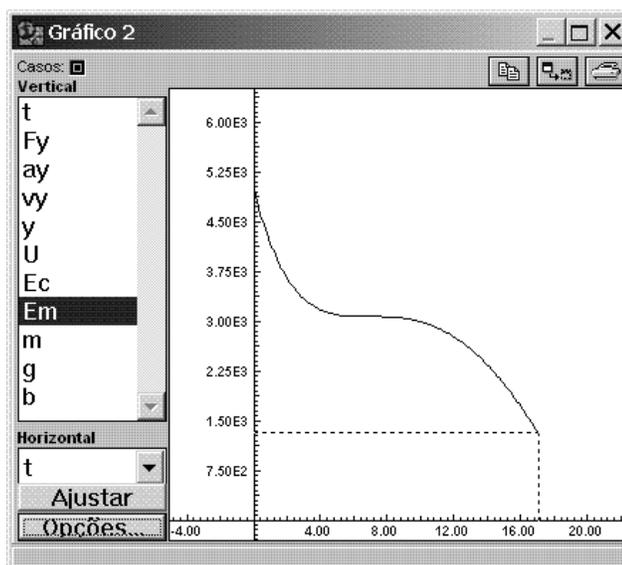


Figura 2 – Perda de energia mecânica em função do tempo para um objeto que é lançado verticalmente, supondo a resistência proporcional à velocidade. Valores no sistema internacional de medidas.

Estes e outros exemplos de Dinâmica são detalhados por Veit, Mors & Teodoro (2002). Estão disponíveis na rede, um conjunto de atividades de simulação e modelagem computacionais desenvolvidas com o *Modellus* para auxiliar os alunos na interpretação de gráficos da Cinemática (Araujo e Veit, 2005) e outro conjunto para auxiliá-los na interpretação de circuitos elétricos simples e RLC (Dorneles, Araujo e Veit, 2005).

#### IV.2 A ferramenta de modelagem quantitativa *PowerSim*

*PowerSim* é uma ferramenta comercial de modelagem quantitativa que permite ao usuário construir seus modelos através da elaboração de diagramas de fluxo utilizando a metáfora de Forrester para a representação de sistemas dinâmicos. Esta metáfora é composta por dois tipos básicos de variáveis: níveis (estados) e taxas (ações). Além destes tipos, podemos incluir constantes para completar a representação.

Os níveis integram (ou acumulam) os resultados da ação num sistema. Uma variável nível é computada pela mudança, devido a variáveis taxas, que alteram o valor prévio do nível. Para entender melhor estes elementos, podemos pensar em um tanque perdendo água através de uma torneira. O tanque é representado por uma variável do tipo nível e a torneira representada por uma variável do tipo taxa, conforme é mostrado na Figura 3, obtida com o *PowerSim*.

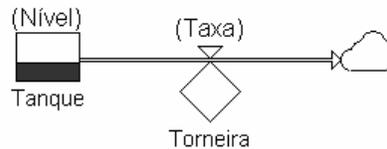


Figura 3 – Representação de níveis e taxas no *PowerSim*.

As unidades de medida de uma variável não distinguem entre um nível e uma taxa. As taxas são variáveis de ação e cessam quando a ação pára. Os níveis são acumulações do efeito da ação passada, continuam existindo e podem ser observados mesmo se não houver atividade. Assim, como um teste de níveis e taxas, imaginemos que toda a atividade num sistema seja levada ao repouso. Somente as variáveis do tipo nível permanecerão observáveis. Por exemplo, uma árvore pararia de crescer, mas o nível de sua altura acumulada seria visível. Obtemos outro exemplo interessante na Física. Sabemos que a velocidade é a taxa de variação temporal da posição, isto é,  $v = \frac{dx}{dt}$  e a aceleração a taxa de variação temporal da velocidade, isto é,  $a = \frac{dv}{dt}$ , assim tanto velocidade como aceleração aparecem como ação e posição e velocidade aparecem como níveis (veja a Figura 4).

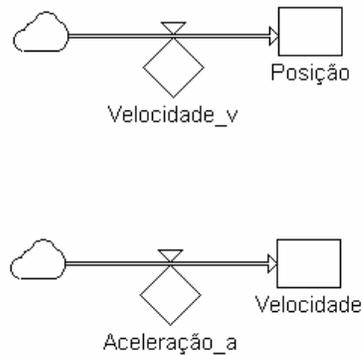


Figura 4 – Posição, velocidade e aceleração como taxas e níveis.

Para o primeiro diagrama da Figura 4, supondo que toda a ação cesse, isto é, que a velocidade seja igual a zero, o que corresponde a um carro parado, ainda assim podemos medir a posição do carro em relação a algum referencial, por exemplo, ele encontra-se a 50 km do ponto de partida. Para o segundo diagrama, supondo que toda a ação cesse, isto é, que a aceleração seja igual a zero, a situação corresponde a um carro em repouso ou em movimento uniforme (MU). Supondo que o carro esteja em MU, poderemos dizer que sua velocidade (nível) tem um valor constante. Por exemplo, o carro está andando a 80 km/h. Estes dois exemplos servem para ilustrar que não devemos distinguir taxas e níveis tendo como base somente a unidade de medida, pois velocidade possui aparentemente uma unidade que a caracteriza na representação como taxa e, na verdade, poderá ser tanto taxa quanto nível.

O *PowerSim* divide-se em pelo menos duas áreas de trabalho interligadas entre si: a Camada de Construção do Modelo, onde se constrói os diagramas do modelo (Figura 5); e a Janela

de Equações, onde são mostradas as equações que regem o modelo, montadas automaticamente pelo programa, de acordo com o diagrama criado pelo modelador (Figura 6). Estas equações são expressas na forma diferencial, devendo ser especificados os valores iniciais dos níveis e as constantes no modelo.

Na Figura 5 podemos observar, além dos tanques representando níveis e dos fluxos (torneiras) representando taxas, um conversor (losango) representando uma constante, e um conector ligando o nível velocidade com a taxa de variação temporal do nível posição, estabelecendo uma relação entre eles no diagrama. Com o mesmo propósito, temos outro conector ligando a aceleração (conversor), com a taxa de variação temporal da velocidade.

No *PowerSim*, um conversor pode ainda ser usado como uma função, para converter os valores de uma variável de acordo com uma equação definida pelo usuário. Temos várias possibilidades de “saída” dos resultados do modelo, na Figura 5 são mostrados dois gráficos e uma tabela.

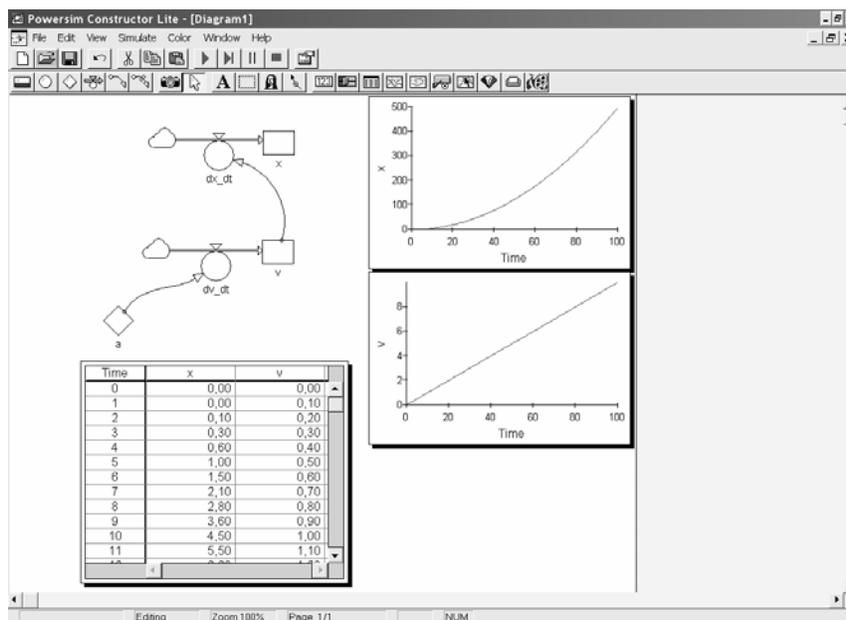


Figura 5 – Camada de construção do modelo no *PowerSim*

Na Figura 6, as seguintes equações diferenciais foram montadas automaticamente a partir da construção do diagrama:

$$x(t) = x(t - dt) + v \cdot dt$$

$$v(t) = v(t - dt) + a \cdot dt$$

$$x(0) = 0$$

$$v(0) = 0$$

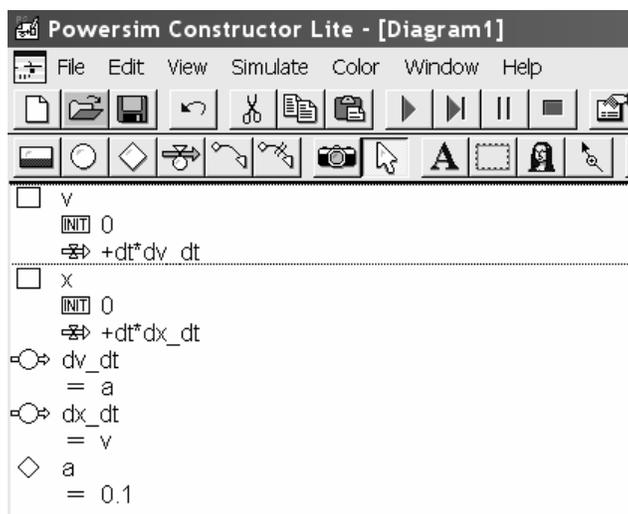


Figura 6 – Janela de equações do modelo implementado no *PowerSim*. Note-se que  $dx\_dt$  e  $dv\_dt$ , devem ser lidos como  $dx/dt$  e  $dv/dt$ , respectivamente.

Ilustramos o estudo do movimento de uma partícula com o *Powersim* porque foi este o tópico exemplificado com o *Modellus* na seção IV.1. Na verdade, a modelagem semiquantitativa é especialmente útil para o tratamento de sistemas complexos, como os estudados em ecologia, e/ou para o usuário que não domine equações diferenciais.

### V. Comentários finais

Desde os tempos de Galileu modelos científicos se constituem no cerne do desenvolvimento científico, entretanto os livros-texto não enfatizam este aspecto e, via de regra, o aluno é aprovado em várias disciplinas de Física, quem sabe até tornando-se um Bacharel ou Licenciado em Física, sem internalizar esta questão.

Mais recentemente, a modelagem computacional passou a ter tanta importância na investigação científica que já em 1989, um relatório do National Research Council (E.U.A.) afirma que:

A computação científica se tornou uma experiência tão cotidiana na prática científica e na Engenharia, que pode ser considerada uma terceira metodologia fundamental das Ciências, paralela ao paradigma experimental e ao teórico das ciências, mais bem estabelecidos. (National Research Council, apud Teodoro & Valente, 2001).

Isto, aliado à introdução dos computadores nas escolas, nos leva a considerar, como dito anteriormente (Veit, 2005), que:

A compreensão de como parte das ciências tem evoluído, a noção de que é possível prever, não apenas observar fatos, a compreensão do pensamento científico, em contraposição à lógica indutivista, e a abordagem de vários tópicos mais próximos da realidade do que os usuais exercícios acadêmicos, passa pela compreensão de modelos e pela prática da modelagem computacional. Por isto, entendemos que a modelagem computacional pode se constituir em uma ferramenta cognitiva útil, e quem sabe até indispensável, na aprendizagem de Física nos dias atuais.

Cuidados são necessários, é indiscutível, para que o uso do computador não se constitua em mais um obstáculo epistemológico, criando outra realidade a disputar, com o mundo real, a mente do aluno. A este respeito, Medeiros e Medeiros (2002) afirmam:

Uma animação não é, jamais, uma cópia fiel do real. Toda animação, toda simulação está baseada em uma modelagem do real. Se essa modelagem não estiver clara para professores e educandos, se os limites de validade do modelo não forem tornados explícitos, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes. Tais danos tornar-se-ão ainda maiores se o modelo contiver erros grosseiros.

Ainda que absolutamente pertinente a esta observação, a consciência de que em Física trabalha-se com modelos, que são idealizados, apresentam grau de precisão e limite de validade, é mais básica e anterior ao uso dos computadores, e precisa estar incorporada à compreensão que professores e alunos têm da Física, sob pena de que erros grosseiros sejam feitos, mesmo sem o uso de computadores, no simples cálculo do alcance de um projétil, por exemplo. Muito possivelmente, se questionado sobre quanto tempo um projétil demora para percorrer 300 km, a maior parte dos alunos obteria a resposta simplesmente substituindo valores na famosa equação parabólica para movimento de projéteis, sem se questionar sobre a relevância da curvatura e da rotação da Terra neste cálculo, ou mesmo da resistência do ar.

A exploração consciente por parte dos alunos dos cinco estágios da modelagem esquemática de Halloun, que não usa computadores em suas propostas, pode se constituir em um caminho ímpar para a compreensão do que são modelos científicos e de sua relevância para a Física. Os computadores podem vir a facilitar o processo de modelagem na medida em que realizam cálculos, permitem a externalização de pensamentos e, sobretudo, oferecem ao aluno diferentes formas de representar e interagir com modelos científicos que se deseja que ele aprenda. Entretanto, para o uso adequado de modelos computacionais com objetivos didáticos é preciso que o aluno avalie reflexivamente os conceitos físicos envolvidos e suas relações; as teorias, hipóteses e aproximações que delimitam o contexto de validade do modelo; a qualidade dos resultados obtidos dentro de um determinado grau de precisão; e, finalmente, as possibilidades de expansão e generalização que podem ser implementadas para que o modelo melhor represente o sistema físico alvo ou consiga dar conta de outros sistemas. Sem estas considerações, corremos o risco de que as atividades didáticas sejam encaradas como meros jogos, ou ainda, tarefas passíveis de execução apenas por tentativa e erro.

Outras idéias interessantes sobre modelagem computacional são apresentadas por Teodoro (2003).

**Agradecimentos** ao Prof. Marco Antonio Moreira, pela leitura crítica do manuscrito.

### Referências

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. *Interpretação de gráficos da cinemática*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/cinematica/index.html>>. Acesso em: 10 jul. 2005.

CONCEIÇÃO, A. S. *Logomática*. Disponível em: <<http://logomatica.sites.uol.com.br/index.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2005.

DAVIDSON COLLEGE . *Physlet Archive*. Disponível em: <<http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>>. Acesso em: 10 jul. 2005.

DORNELES, P. F. T., ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. *Circuitos elétricos: atividades de simulação e modelagem computacionais com o Modellus*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/circuitos/index.html>>. Acesso em: 10 jul. 2005.

ESQUEMBRE, F. *Easy Java Simulations*. Disponível em: <[http://fem.um.es/Ejs/Ejs\\_es/index.html](http://fem.um.es/Ejs/Ejs_es/index.html)>. Acesso em: 10 jul. 2005.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, New York, v. 86, n. 1, p. 106-121, Jan. 2002.

HALLOUN, I. Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 33, n. 9, p. 1019-1041, Nov. 1996.

KRAPAS, S; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C. Modelos: terminologia e sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 185-205, set./dez. 1997.

LEDERMAN, L. *Leon Lederman's View*. Disponível em: <<http://www.enc.org/features/focus/archive/horizons/document.shtm?input=FOC-002312-lederman,00.shtm>>. Acesso em: 10 jul. 2005.

MEDEIROS, A; MEDEIROS, C. F. de; Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, jun. 2002.

MODELLUS. *Modelling with mathematics*. Disponível em: <<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/>>. Acesso em: 10 jul. 2005.

MOREIRA, M. A. Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 196-206, set./dez.1996.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. Obstáculos representacionais mentales en el aprendizaje de conceptos cuánticos. In: *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionais, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales*. Ed. M. A. Moreira; I. M. Greca. Porto Alegre: IF-UFRGS, 2004.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de física básica. 1. ed. Ver. São Paulo: Edgard Blücher 1993. v. 1. Mecânica.

POWERSIM. *Versão demo*. Disponível em: <<http://www.uni-klu.ac.at/users/gossimit/sw/PSLite.exe>>. Acesso em: 10 jul. 2005.

SANTOS, A. de C. K. dos; CHO, Y.; ARAUJO, I. S.; GONÇALVES, G. P. *Modelagem computacional utilizando STELLA*. Rio Grande: Editora da FURG, 2002.

TEODORO, V. D. *Modelação no ensino de Física: seis idéias básicas*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15., 2003, Curitiba. *Atas*. Curitiba: Nilson Garcia, 2003. 1CD-ROM.

TEODORO, V. D.; VALENTE, M. O. *Modellus*, modelação matemática nas ciências Físicas e renovação do currículo. *Inovação*, Lisboa, v. 14, n. 3, 2001.

VEIT, E. A.; MORS, P. M. & TEODORO, V. D. Ilustrando a segunda lei de Newton no século XXI. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.24, n.2, p.176-184, jun. 2002.

VEIT, E. A. *Modelagem computacional no ensino de Física*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2005. Rio de Janeiro.

---

<sup>i</sup> Tantos os cientistas quanto os não-cientistas trabalham com modelos conceituais. Ocorre que os modelos conceituais de não-cientistas, com frequência, estão impregnados de divergências conceituais em relação ao que é aceito pela comunidade científica. As concepções alternativas usuais na aprendizagem de novos conceitos levam a modelos conceituais discordantes dos científicos.

<sup>ii</sup> Denominamos de modelos físicos, os modelos científicos no âmbito da Física

<sup>iii</sup> Modelagem esquemática é uma teoria de desenvolvimento epistemológico baseada na pesquisa cognitiva. A discussão da modelagem esquemática (seção III) e a seção IV deste artigo contêm excertos do texto Tecnologias Computacionais no Ensino de Ciências, E. A. Veit e I. S. Araújo, Actas del Pidec: Textos de Apoio do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciências da Universidade de Burgos/UFRGS, v. 6 p. 154-226, 2004.

<sup>iv</sup> Não incluímos *softwares* do tipo micromundos, (como *Interactive Physics* e *XYZet*), aquisição de dados (como *Oscilloscope* e *Spectrogram*), e tampouco análise de imagem (*VideoPoint*, *SAM*) embora a modelagem computacional acoplada a estas alternativas apresentaria um potencial ainda maior para a aprendizagem de Física.