

Modelling4All: Ambiente na web 2.0 para a construção, simulação e compartilhamento de modelos baseados em agentes

Ken Kahn¹, Howard Noble¹, Fábio Ferrentini Sampaio², Arthur Hjorth¹

¹Oxford University Computing Centre
13 Banbury Road – OX2 6NN – Oxford - UK

²Núcleo de Computação Eletrônica- Programa de Pós-Graduação em Informática – PPGI
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Caixa Postal 2324 – 22.290-240 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

(Keneth.kahn, howard.noble)@oucs.ox.ac.uk, ffs@nce.ufrj.br,
arthurhjorth@gmail.com

Abstract. *This paper introduces some ideas about modelling and science teaching and presents the Modelling4All Project a Web-based tool for constructing, running, visualising, analysing, and sharing agent-based models. The Project and its language tool – BehaviourComposer – were constructed using Web 2.0 tools and can be used by non-experts – students and teachers – to explore ideas in different subjects related to the undergraduate and secondary school curriculum. Additionally, this article also presents some preliminary results of using these computational tools with students of different levels of education.*

Resumo. *Este trabalho discute algumas ideias sobre modelagem e ensino de ciências e apresenta o Projeto Modelling4all, um ambiente baseado na Web para construção, visualização, análise e compartilhamento de modelos baseados em agentes. O Projeto e sua linguagem – BehaviourComposer – foram construídas utilizando ferramentas da Web 2.0 com o objetivo de permitir que não especialistas – estudantes e professores – explorem tópicos relacionados aos currículos dos ensinos médio e superior. Além disso, este artigo também apresenta alguns resultados preliminares do uso dessas ferramentas computacionais com estudantes de diferentes segmentos do ensino.*

1. Introdução

O uso de modelos e simulação no ensino tem sido o foco da atenção de diferentes pesquisadores desde o surgimento dos primeiros microcomputadores no final da década de 1960 [Papert 1980, Riley 2002]. Diferentes propostas curriculares em países com larga tradição em pesquisa e ensino de Ciências têm dado especial atenção à inserção desse ferramental no ensino como, por exemplo, a Inglaterra [Nuffield 2010, National Curriculum 2010] e os EUA [NSF 2010, STEM 2008].

No Brasil, propostas que incluem o uso da modelagem e simulação no ensino também ocorrem, na medida em que os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) apontam para o seu uso nos ensinos fundamental e médio. Segundo os PCNs [MEC 1998, p. 44] existe a necessidade de explorar e priorizar estratégias “(...) de verificação e comprovação de hipóteses na construção do conhecimento, a construção de argumentação capaz de controlar os resultados desse processo, o desenvolvimento do espírito crítico

capaz de favorecer a criatividade, a compreensão dos limites e alcances lógicos das explicações propostas”. Ainda segundo os PCNs [MEC 1997, p. 34] “o fato de, neste final de século, estar emergindo um conhecimento por simulação, típico da cultura informática, faz com que o computador seja também visto como um recurso didático cada dia mais indispensável”. No entanto, apesar do aparente potencial pedagógico da modelagem e a simulação, ainda observamos hoje um relativo baixo uso no Brasil e, até mesmo, em países de primeiro mundo.

A partir de trabalhos desenvolvidos nessa área, diferentes grupos de pesquisa têm chegado a conclusões semelhantes quanto às possíveis razões dessa pouca utilização [Sampaio 2009, Kahn 2007, Hirsch 2006]. Tais justificativas podem ser resumidas em três situações: 1) professores das diferentes disciplinas não conhecem modelagem; 2) professores não têm tempo para desenvolver novas atividades destinadas à sala de aula; e 3) professores – e outros usuários – necessitam conhecer programação para que possam construir e simular modelos.

Com o intuito de buscar tratar essas questões, pesquisadores do Learning Technologies Group da Universidade de Oxford¹ desenvolvem o Projeto Modelling4All (2010). Este projeto implementa um portal baseado em ferramentas sociais da Web 2.0, criando um espaço para professores, alunos e pesquisadores trocarem experiências e conhecimentos na aplicação da modelagem no ensino. As interações no portal acontecem em torno do uso da ferramenta para construção de modelos baseados em agentes denominado *BehaviourComposer*.

Nesse contexto, este trabalho tem o objetivo de apresentar o referido Projeto, com foco na sua ferramenta computacional empregada para construir e simular modelos baseados em agentes. Este artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 apresentamos algumas definições para compreensão deste trabalho, além de discutirmos sobre a importância e as dificuldades encontradas na prática educacional do uso de modelos e simulação no ensino de ciências; na Seção 3 apresentamos o Projeto supracitado e a ferramenta *BehaviourComposer*; na Seção 4 descrevemos alguns resultados preliminares do uso dessas ferramentas computacionais com alunos de diferentes segmentos do ensino; e na Seção 5 tecemos as considerações finais e indicamos possíveis trabalhos futuros.

2. Modelos

Um modelo pode ser visto como um novo mundo construído para representar fatos, eventos, objetos ou processos que acontecem no nosso mundo ou em um mundo imaginário. Normalmente, tais modelos são mais simples do que o “mundo a ser modelado” e na maioria dos casos interagimos com os mesmos com o claro objetivo de melhor compreender o mundo modelado [Sampaio 2009]. Segundo Miranda (2006, p. 52), “geralmente, modelos são criados com um cunho investigativo na tentativa de isolar ou melhor observar, sob condições pré-definidas ou conhecidas, um fato ou uma teoria do mundo real que tem intrinsecamente a complexidade como característica”.

Outro importante aspecto dos modelos e do processo de modelagem é que uma mesma realidade pode ser modelada de diferentes maneiras, representando diferentes aspectos do problema ou diferentes visões do modelador. Por exemplo, o estudo sobre a

¹ www.oucs.ox.ac.uk/ltg.

infecção de uma determinada população pelo vírus da gripe A (H1N1) e seus possíveis desdobramentos, pode ser representado por diferentes modelos, podendo levar a diferentes políticas e atitudes por partes dos cientistas, governantes e da sociedade em geral. No entanto, tais modelos apesar de gerarem diferentes previsões, têm importância fundamental por trazerem para o debate ideias e soluções em torno do problema em questão.

Os modelos computacionais baseados em agentes são aqueles que incluem na sua criação a representação dos seus elementos como indivíduos contendo comportamentos e capazes de interagir com os outros componentes do sistema. Ao invés de modelarmos o problema somente através de variáveis e equações que representam o estado do sistema como um todo, utiliza-se a modelagem dos elementos – agentes – de forma autônoma.

Os agentes podem ser vistos como organismos, pessoas, indústrias ou qualquer outra entidade que persegue um determinado objetivo. No problema supramencionado sobre infecção viral, podemos considerar os indivíduos da população, o vírus e o clima agindo localmente e gerando efeitos no sistema como um todo. Segundo Railsback e Volker (2010), as interações desses agentes entre si têm como consequência um possível surto epidêmico ou pandêmico – comportamento emergente – além de outros efeitos políticos, econômicos e sociais.

Assim, na criação e simulação desses modelos, a interação é considerada de forma local, na medida em que cada agente não se relaciona com todos os outros agentes, mas apenas com aqueles que estão na sua vizinhança geográfica. Nesse aspecto a construção de modelos baseados em agentes se torna mais simples, uma vez que precisamos modelar apenas o comportamento dos indivíduos – agentes – que fazem parte do problema estudado e esperar que o comportamento que emerge da interação das suas partes, possa representar o comportamento mais complexo do sistema como um todo. A ideia, portanto, é a de procurar entender o “comportamento do todo” – mais complexo – a partir das interações comportamentais de suas partes (mais simples)².

No entanto, quando nos voltamos para pensar sobre os possíveis usos pedagógicos que podemos fazer com a utilização desse ferramental no ensino, nos deparamos com algumas dificuldades, como serão discutidas a seguir.

2.1. Modelos em Ciências

O objetivo primeiro das ciências é o de tentar entender e explicar fenômenos que ocorrem no mundo real. Os modelos têm papel fundamental neste processo, sendo utilizados pelos cientistas como importantes “ferramentas do pensamento” no auxílio ao desenvolvimento de suas atividades. A partir desta perspectiva, a atividade – ou metodologia – científica pode ser vista como o ciclo apresentado na Figura 1 [Sampaio 2009, Bizzo 2007].

Uma vez que existem diferentes maneiras de representar um sistema real de uma forma simplificada - por exemplo, de infecção viral - como podemos saber quais aspectos do sistema real devem ser incluídos e quais devem ser ignorados ? Para respondermos a tal pergunta, é decisivo conhecermos o objetivo do modelo. “A pergunta que queremos

² Segundo Johnson (2001), um comportamento emergente acontece quando um sistema interconectado composto de elementos relativamente simples se auto-organiza para formar comportamentos mais inteligentes, adaptáveis e complexos.

responder com o modelo serve como uma espécie de filtro: todos os aspectos do sistema real considerados irrelevantes ou pouco importantes para responder a esta questão são filtrados. Eles são ignorados no modelo, ou respresentados apenas de uma forma muito simplificada” [Railsback e Volker 2010].

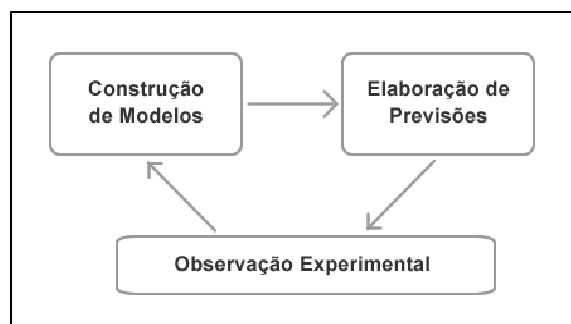


Figura 1. Ciclo que retrata a dinâmica da metodologia científica

Desse modo, a pergunta acima pode ser vista como uma das razões para a utilização da modelagem no ensino: para se construir, simular e interpretar modelos é necessário que diferentes habilidades e competências valorizadas pelos PCNs e ENEM (2002) sejam desenvolvidas como, por exemplo, abstração, síntese e formulação e teste de hipóteses.

2.2. Modelos Computacionais no Ensino de Ciências

As estratégias didáticas adotadas pelos professores de Ciências, em geral, privilegiam a memorização e a aplicação de fórmulas, reservando aos alunos o lugar de meros receptores de conteúdos distantes de seu cotidiano. Tais práticas têm sido foco de críticas e objeto de diferentes pesquisas no Brasil e no mundo [Schecker 1994, Tavares 2004, Veit e Teodoro 2002, Lyneis e Stuntz 2001, Lohner *et al.* 2005].

Dentre as possíveis alternativas a essa forma de ensinar estão aquelas onde procura-se pensar o ensino de ciências a partir da ideia de “alfabetização em ciências”, dando aos estudantes a oportunidade de pensar de forma crítica sobre conceitos científicos e questioná-los [Papert 1980, Jackson *et al.* 1996, Bizzo 2007, Teodoro 2002, Van Borkoulos 2009].

O importante, então, não é levar os estudantes a encontrarem respostas corretas pela simples aplicação de fórmulas, mas percebê-los como aprendizes ativos, engajando-os em atividades através das quais possam desenvolver seu próprio conhecimento dos fenômenos naturais. Em tais ambientes educacionais as ferramentas de modelagem computacional podem ser utilizadas para “explorar domínios onde os professores sabem um pouco mais que os alunos, mas não conhecem todas as respostas. Domínios que eles podem modelar com suas classes, [...] sobre os quais ambos podem compartilhar importantes momentos de descoberta” [Vitale 1988, p. 227].

Assim, através da expressão e construção de modelos computacionais, os estudantes podem desenvolver o seu próprio entendimento a cerca do funcionamento de sistemas dinâmicos [Sampaio, 2009], num constante processo de “externalização” de seus modelos mentais [Johnson-Laird 1983, Bliss 1994], dando formas concretas a ideias abstratas.

Entretanto, apesar de diferentes pesquisas sobre o uso da modelagem computacional no ensino confirmarem essa necessidade de mudança na prática escolar [Mandinach e Cline

1994, Teodoro 2002, Van Borkoulos 2009], o que se percebe a partir de uma leitura crítica das mesmas é que boa parte dos professores e escolas envolvidos nos projetos acabam por abandonar o uso de tais ferramentas e metodologias.

De acordo com Sampaio (2009) podem ser apontadas três importantes razões para este comportamento, a saber:

- **Professores desconhecem modelagem e simulação:** Apesar de alguns autores perceberem a modelagem e simulação como uma terceira forma de se fazer Ciências [Gilbert e Terna 2000], tal assunto é muito pouco abordado nos cursos de graduação e praticamente inexistente nas disciplinas relacionadas às atividades pedagógicas dos futuros professores;
- **Professores não têm tempo para desenvolver novas atividades destinadas à sala de aula:** A realidade educacional do país obriga os nossos professores a trabalharem com turmas super lotadas e muitas vezes em duas ou três escolas diferentes. Não existe tempo para reflexão e elaboração de novos materiais. Boa parte dos professores acaba adotando livros didáticos que apresentam o conteúdo “já mastigado” para os alunos. Em países do primeiro mundo, apesar de adotarem o esquema de professor de apenas uma escola, o que se percebe é que boa parte do tempo desses professores fora da sala de aula é utilizado para elaboração de relatórios e outras atividades burocráticas;
- **As ferramentas para a construção de modelos baseados em agentes exigem conhecimentos de programação:** A maior parte das ferramentas de modelagem com foco educacional exige do professor o conhecimento de programação a fim de que possam construir ou simular modelos. Entretanto, como já mencionado, a grande maioria dos professores não teve a oportunidade de trabalhar essa habilidade durante sua formação.

3. Modelling4All e o BehaviourComposer

O Projeto Modelling4All [Kahn e Noble 2009] pode ser visto como um portal para professores e alunos trabalharem com modelagem e simulação em ambientes de ensino. Esse portal incorpora algumas ferramentas sociais da Web 2.0, permitindo a criação de uma comunidade virtual onde os participantes podem trocar informações, independente da plataforma computacional utilizada. Através do portal o usuário tem acesso a ferramenta de modelagem e simulação conhecida como *BehaviourComposer*.

O *BehaviourComposer* foi concebido seguindo a mesma filosofia do portal, ou seja, os protótipos desenvolvidos podem ser, com certa facilidade, compartilhados e utilizados como componentes de outras aplicações Web. Para isso, faz uso de conceitos e elementos que têm sido empregados com sucesso em outras aplicações da Web 2.0 como, por exemplo, *Wikipedia*, *Flickr*, *YouTube*, *del.icio.us* e *Facebook*³.

³ Essas aplicações estão disponíveis, na ordem em que são apresentadas no texto, em: www.wikipedia.org, www.flickr.com, www.youtube.com, www.delicious.com e www.facebook.com.

3.1. Criando Modelos com o BehaviourComposer

O *BehaviourComposer* pode ser classificado como uma ferramenta para criação de modelos baseados em agentes. Os modelos criados com essa ferramenta são, no momento da execução, automaticamente traduzidos para a linguagem NetLogo [Wilensky 1999], podendo também rodar sob a forma de *applets* em qualquer sistema operacional que disponibilize a máquina Java.

A criação de modelos com o *BehaviourComposer* se dá através da seleção e parametrização de micro-comportamentos (*micro-behaviours*) disponíveis na biblioteca do ambiente. Essa biblioteca é organizada em categorias podendo ser estendida pelos usuários. Assim, através de uma interface *drag and drop* o usuário faz a especificação dos agentes que irão compor o seu modelo, selecionando micro-comportamentos das diferentes categorias existentes na biblioteca do sistema. Algumas dessas categorias são: movimento, aparência, formas de reprodução, *links* e atributos de manutenção. Existem também outras categorias de comportamentos que visam facilitar a simulação dos modelos criados: geração de gráficos e histogramas, *sliders*, botões e registro de *logs*.

Desta forma, cada micro-comportamento é concebido como um processo autônomo onde, por exemplo, um peixe de um cardume pode estar rodando processos concorrentes de forma a mantê-lo a uma certa distância dos outros peixes, ao mesmo tempo em que segue o cardume como um todo numa determinada direção (Figura 2).

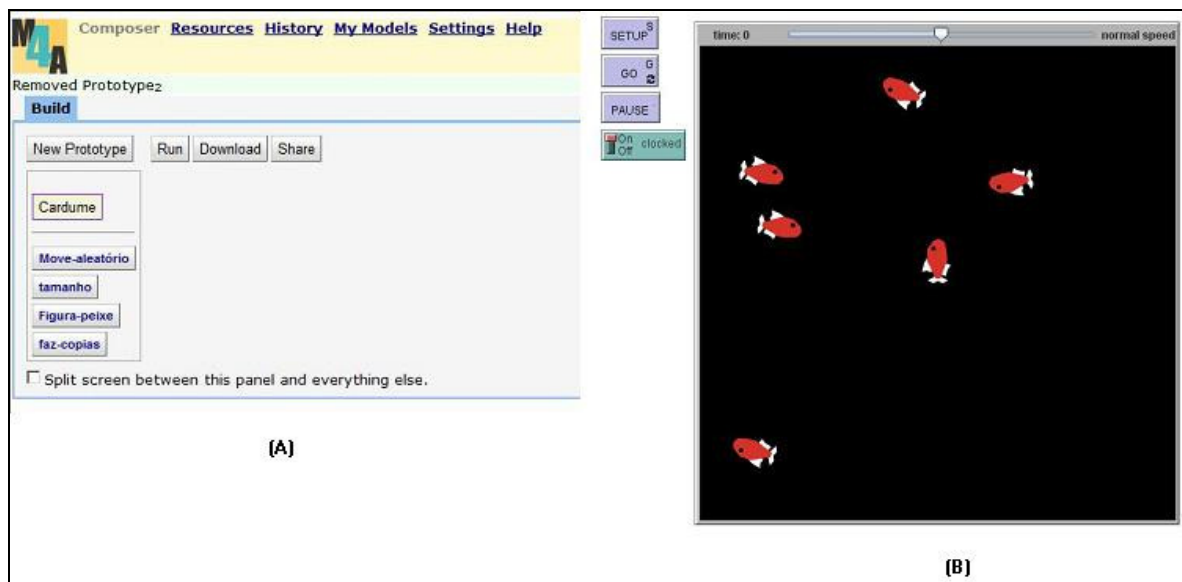


Figura 2. Exemplo de modelo construído com o BehaviourComposer. (a) Tela do ambiente apresentando um modelo em construção (cardume de peixes) (b) Simulação no NetLogo do modelo criado no BehaviourComposer

Os modelos criados com essa ferramenta ficam disponíveis no servidor do ambiente, podendo ser compartilhados sob diferentes formas através de *links* – URLs – gerados pelo sistema. Como alternativa, o usuário pode também salvar o código em NetLogo e manuseá-lo numa máquina sem acesso a Web. Além disso, as bibliotecas criadas pelos usuários também podem ficar disponíveis no servidor do sistema ou hospedadas em qualquer outro *website*. Para que outros usuários tenham acesso às mesmas é necessário apenas o compartilhamento da URL de acesso.

Um grande desafio no desenho e implementação do *software* foi o de prover facilidades para que os micro-comportamentos possam ser combinados pelos usuários sem a preocupação de organizá-los numa determinada ordem de execução (pensamento procedural). Os conflitos entre os diferentes processos são evitados através do uso de rotinas de escalonamento e suporte a atualização simultânea dos atributos, que foram incorporadas ao NetLogo.

3.2. Características Computacionais do BehaviourComposer

O *BehaviourComposer* foi desenvolvido utilizando AJAX, o Google Web Toolkit (GWT) e o NetLogo. O GWT provê suporte para a criação de objetos de interface tais como botões, editores e “tabs”, bem como rotinas para comunicação com o servidor. Cada micro-comportamento existente no ambiente é apresentado sob a forma de página Web podendo ser acessado através de sua URL, *tags* ou máquinas de busca disponíveis na Internet.

Micro-comportamentos criados pelos usuários podem ficar disponíveis para outros usuários a partir da disponibilização da sua URL única. Tal facilidade trás consigo um “efeito colateral”: A possibilidade de se tentar utilizar um micro-comportamento que foi removido ou alterado. Tal situação pode ser contornada através da cópia e armazenamento com nova URL dos comportamentos utilizados.

Apenas uma parte do código do micro-comportamento corresponde efetivamente ao seu comportamento como, por exemplo, especificar a forma de um determinado agente no modelo. O restante é responsável pela criação automática de um botão quando o referido micro-comportamento é requisitado pelo *software*. Uma vez que o botão é acionado, o fragmento de código que corresponde ao comportamento é adicionado ao protótipo (agente) que está sendo criado.

Cada página correspondente a um micro-comportamento contém ainda outras informações disponibilizadas para o usuário a fim de ajudá-lo a melhor entender e empregar o referido comportamento, a saber: 1) descrição do micro-comportamento; 2) descrição de como editar o micro-comportamento a fim de produzir variações no mesmo; 3) apresentação de *links* para outros comportamentos relacionados; 4) descrição de como o fragmento de programa implementa o comportamento em questão; e 5) histórico de modificações do micro-comportamento.

4. Resultados Preliminares no Contexto de Ensino

O Projeto Modelling4All e a ferramenta *BehaviourComposer* têm sido utilizadas em diferentes atividades acadêmicas na Universidade de Oxford. O objetivo tem sido o de testar a interface do ambiente e avaliar as suas possibilidades educacionais.

Cerca de trinta alunos do curso de Biologia utilizaram o ambiente para explorar a dinâmica de uma epidemia causada por vírus. Numa sessão de cerca de duas horas eles foram capazes de construir modelos para populações com diferentes características e pensar sobre possíveis intervenções.

Em duas outras intervenções, alunos da Said Business School⁴ construíram e simularam uma série de modelos sobre o jogo Sugarscape [Epstein e Axtell 1996]. Aqui,

⁴ www.sbs.ox.ac.uk.

novamente numa sessão de cerca de duas horas, os alunos foram capazes de responder perguntas específicas sobre o comportamento do sistema, bem como testar hipóteses sobre o mesmo [Masterman *et al.* 2008].

Em ambas as situações os estudantes tinham pouca experiência em programação de computadores e, no entanto, foram capazes de construir modelos relativamente completos no seu campo de atuação e entender mais sobre comportamentos complexos, além de terem adquirido uma compreensão mais apurada sobre o processo de construção de modelos. Cabe ressaltar ainda o que foi relatado por um dos professores da Universidade envolvido nesse trabalho: “Eles [os alunos] se tornaram alfabetizados em modelagem [*modelling literacy*]”. Como resultado dessas atividades, podemos verificar que esses alunos foram capazes de desenvolver um entendimento de como simulações funcionam, e de como defini-las, construí-las e explorá-las.

Ainda em relação ao uso das ferramentas computacionais descritas neste trabalho no contexto de ensino, durante os meses de Abril/Maio do corrente ano foram desenvolvidas atividades com três alunos do ensino médio (com idade entre 14-16 anos). Em sessões de cerca de 4 horas, os alunos construíram alguns modelos propostos em tutoriais disponíveis no ambiente, bem como interagiram com um modelo sobre o vírus da gripe A (H1N1). Durante essas atividades identificou-se alguns *bugs* no ambiente que, logo em seguida, foram removidos. As impressões acerca dessas atividades no contexto do ensino estão relatadas no *blog* do Projeto⁵.

5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou o Projeto Modelling4All e a linguagem *BehaviourComposer*, desenvolvidos com o intuito de facilitar o processo de construção, compartilhamento e simulações de modelos baseados em agentes por usuários não especialistas em programação. Tal Projeto lança mão de ferramentas da Web 2.0 para facilitar o compartilhamento de informações entre os usuários. A linguagem desenvolvida segue também o mesmo princípio, sendo desenvolvida como uma aplicação Web onde tanto os modelos construídos quanto os micro-comportamentos ficam disponíveis na Web através de suas URLs, podendo ser acessadas também por diferentes ferramentas de busca e *tags*.

O Projeto tem sido testado com usuários de diferentes níveis e tem alcançado bons resultados na medida em que alguns *bugs* têm sido relatados e consertados, e usuários leigos em programação têm conseguido construir e simular modelos de relativo grau de complexidade em curto espaço de tempo – menos de duas horas – a partir de pequena orientação inicial. Durante o ano acadêmico 2009-2010 o projeto foi convidado a expor um jogo sobre infecção a partir do vírus da gripe A (H1N1) durante a Feira de Ciências promovida pela Royal Society⁶, apresentar Workshop na Conferência Constructionism 2010 [Khan *et al.* 2010], bem como elaborar material didático para difundir o mesmo nas escolas inglesas.

Visando promover o acesso e o uso efetivo dessas ferramentas nas escolas brasileiras, a versão em Português do Projeto estará disponível ainda no 2º semestre de 2010, juntamente com material pedagógico para se trabalhar em escolas do ensino

⁵ www.modelling4all.wikidot.com.

⁶ www.seefurtherfestival.org/exhibition.

fundamental e médio, primeiramente, sobre o tema meio-ambiente. A inserção de pesquisadores de Informática na Educação (IE) do Brasil no citado Projeto garante que a tecnologia, a metodologia e, até mesmo, parte da *expertise* dos pesquisadores de Oxford sejam compartilhados com nossa comunidade de IE.

Referências

- Bizzo, N.M.V. (2007) “Ciências: Fácil ou Difícil?”, 10a. ed., Ática.
- Bliss, J. (1994) “Reasoning with a Semi-Qualitative Tool”. In: Mellar, H., Bliss, J., Booahan R. and Ogborn, J (Eds.) *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modeling in the Curriculum*. The Falmer Press.
- ENEM (2002) “Revista do Exame Nacional do Ensino Médio”. Ano 2, no. 2
- Epstein, J. and Axtell, R. (1996) “Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up”. Brookings Institution Press and MIT Press.
- Gilbert, N. and Terna, P. (2000) “How to Build and Use Agent-Based Models in Social Science”. In: *Mind & Society*, Vol. 1, No. 1. p. 57-72.
- Hirsch, G.B. (2006) “Packaged Simulators and Simulation-Based Learning Environments: An Alternative to Model-Building that Can Expand the Audience for System Dynamics”. In: *The Creative Learning Exchange*, Vol. 15, No. 2.
- Jackson, S.L., Stratford, S.J., Krajcik, J. and Soloway, E. (1996) “Making Dynamic Modeling Accessible to Pre-College Science Students. In: *Interactive Learning Environments*, Vol. 4, No. 3, p. 233-257.
- Johnson-Laird, P.N. (1983) “Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness”. Harvard University Press.
- Kahn, K. (2007) “Modelling4All - Web-Services to Enable Non-Programmers to Collaboratively Build and Analyse Computer Models”.
- Kahn, K. and Noble, H. (2009) “The Modelling4All Project: A Web-Based Modelling Tool Embedded in Web 2.0”. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*.
- Kahn, K., Noble, H., Hjorth, A. and Sampaio F.F. (2010) “Modelling4All - Non-Programmers Building Agent-Based Models in a Web 2.0 Tool”. In: *Constructionism 2010*.
- Lohner, S., Van Joolingen, W.R., Savelsbergh E.R. and Van Hout-Wolters, B. (2005) “Students Reasoning During Modeling in an Inquiry Learning Environment”. In: *Computers in Human Behaviour*. Vol. 21, p. 441-461.
- Lyneis, D. and Stuntz, L.N. (2001) “System Dynamics in K-12 Education: Lessons Learned”, <http://www.clexchange.org/>.
- Mandinach, E.B. and Cline, H.F. (1994) “Classroom Dynamics: Implementing a Technology-Based Learning Environment”. Lawrence Erlbaum Associates.

- Masterman, L., Kahn, K. and Noble, H (2008) “JISC Design for Learning Programme – Constructing2Learn Evaluation Report”, www.jisc.ac.uk/whatwedo/programmes/elearningpedagogy/constructing2learn.aspx.
- MEC (1997) “Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática”.
- MEC (1998) “Parâmetros Curriculares Nacionais - Terceiro e Quarto Ciclos do Ensino Fundamental: Introdução aos Parâmetros Curriculares Nacionais”.
- Miranda, L. C. (2006) “RoboFácil: Especificação e Implementação de Artefatos de Hardware e Software de Baixo Custo para um Kit de Robótica Educacional”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Modelling4All (2010) “The Modelling4All Project”, <http://modelling4all.nsms.ox.ac.uk>.
- National Curriculum (2010), <http://curriculum.qcda.gov.uk>.
- NSF (2010) “National Science Foundation”, <http://www.nsf.gov>.
- Nuffield (2010) “Nuffield Program”, <http://www.nuffieldcurriculumcentre.org>.
- Papert, S. (1980) “Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas”. Basic Books.
- Railsback, S.F. and Volker, G. (2010) “A Course in Individual-Based and Agent-Based Modeling”. To be published. Princeton University Press.
- Riley, D. (2002) “Simulation Modelling: Educational Development Roles for Learning Technologists”. In: *Association for Learning Technology Journal*, Vol. 10, (3), p. 54-69.
- Sampaio, F.F. (2009) “A Modelagem Dinâmica Computacional no Processo de Ensino-Aprendizagem: Algumas Questões para Reflexão”. In: *Ciência em Tela*, Vol. 2, No. 1, p. 1-11.
- Schecker, H. (1994) “System Dynamics in High School Physics”. In: *Proceedings International System Dynamics Conference*, p. 74-84.
- STEM (2008) “CRS Report Program - Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education”, <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/RL33434.pdf>.
- Tavares, R. (2004) “Aprendizagem Significativa”. In: *Revista Conceitos*, <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/2004AprendizagemSignificativaConceitos.pdf>.
- Teodoro, V.D. (2002) “Modellus: Learning Physics with Mathematical Modelling”. Tese de Doutorado, Universidade Nova de Lisboa.
- Van Borkulo, S. (2009) “The Assessment of Learning Outcomes of Computer Modelling in Secondary Science Education”. Ph.D. Thesis, University of Twente.
- Veit, E.A. e Teodoro, V.D. (2002) “Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio”. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 24, No. 2.
- Vitale, B. (1988). Psycho-Cognitive Aspects of Dynamic Model-Building in LOGO: A Simple Population Evolution and Predator/Prey Program. *Journal of Educational Computing Research*, 4(3), 227-251.
- Wilensky, U. (1999) “NetLogo”, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>.