

Sim-Colmeia: Ambiente de simulação da dinâmica populacional de uma colmeia para o ensino de Biologia

**José Eduardo M. Figueiredo, André Souza da Silva, Vera Maria B. Werneck,
Rosa Maria E. Moreira da Costa**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
IME - Mestrado em Ciências Computacionais
Rua São Francisco Xavier 524- 6º andar – Bl. B, CEP 20550-013
Rio de Janeiro – RJ – Brasil

prof_edu@oi.com.br, andresouzaalclick21.com.br, vera@ime.uerj.br,
rcosta@ime.uerj.br

***Abstract.** This paper presents an environment that simulates the activities of a hive and is applied to Biology learning. The system variables can be changed in order to analyze the different results. Aspects such as duration and time of flowering can be manipulated by the student. The approach of multi-agent in Distributed Artificial Intelligence was chosen since it fits the idea of a cooperative work without coordination. Virtual Reality is used to display and illustrate activities implemented in the simulation.*

***Resumo.** Este trabalho apresenta um ambiente de simulação das atividades de uma colmeia para o ensino de Biologia. As variáveis do sistema podem ser alteradas visando analisar os diferentes resultados obtidos. Aspectos como duração e tempo da floração podem ser manipulados pelo aluno. A abordagem de multiagentes em Inteligência Artificial Distribuída foi a escolhida, uma vez que se adapta a ideia de trabalho cooperativo sem uma coordenação geral. A Realidade Virtual será utilizada para mostrar de forma mais atraente e ilustrativa, algumas atividades implementadas na simulação.*

1. Introdução

O ensino de Biologia tem utilizado novos objetos educacionais digitais como forma de estimular seus alunos e melhorar o processo de aprendizado. Este caminho visa mudar o status existente, no qual os alunos memorizam conceitos e se desestimulam, considerando as aulas monótonas [Bezerra et al., 2008]. Neste contexto surge como importante ferramenta o uso de simulações, que permitem aos alunos observarem situações variadas em um mesmo contexto [Fialho e Matos, 2010]. Eles podem alterar parâmetros, analisar os novos comportamentos que surgirão e tirar suas conclusões. Assim, as simulações permitem uma ativa participação do aluno no processo de aprendizagem.

No ensino de biologia são muitos os fenômenos que podem ser simulados. A possibilidade de utilização de um ambiente gráfico e colorido torna o processo de aprendizagem mais atrativo para o aluno [Mulinari e Ferracioli, 2008].

Uma das possibilidades de simulação do mundo real em um sistema digital é reproduzir as atividades de insetos sociais. Neste caso, vários agentes, os insetos, agem conforme sua experiência e interagem com outros agentes, tomando decisões com o objetivo de manter a unidade do grupo [Hamada, 2010]. Estes grupos constituem um *Swarm* ou enxame. O estudo de *Swarms* na área da computação desponta como uma forma de resolver problemas complexos através do trabalho conjunto de vários componentes que produzem resultados significativos.

A área de Inteligência Artificial Distribuída (IAD) dá uma grande contribuição para o desenvolvimento destes sistemas, pois estuda os mecanismos de interação de entidades computacionais, através da cooperação, com um objetivo comum. Nesta área, se destacam os Sistemas Multiagentes (SMA) que podem ajudar a simular ambientes de insetos sociais, pois criam uma estrutura de autonomia e cooperação semelhante às observadas nos grupos de insetos sociais. A distribuição do trabalho entre os agentes se assemelha às encontradas em colmeias, por exemplo.

Este trabalho tem como objetivo a descrição de um ambiente de aprendizagem que simula as atividades observadas na sociedade de abelhas, através da utilização dos SMA e *Swarms*. Os resultados do comportamento das abelhas podem ser analisados conforme as variáveis do ambiente são alteradas pelo usuário. Uma representação do ambiente em Realidade Virtual (RV) é proposta, tornando a percepção dos fatos mais clara e estimulando a interação dos alunos com o tema.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a importância das simulações no processo ensino-aprendizagem; a seção 3 analisa alguns ambientes de simulação; a seção 4 mostra a presença da área de Inteligência Artificial no desenvolvimento de simulações; a seção 5 descreve o ambiente de Simulação para o ensino de Biologia; e finalmente a seção 6 tece conclusões sobre este trabalho e apresenta perspectivas futuras.

2. As simulações no processo ensino-aprendizagem

Simulações digitais são sistemas que buscam recriar um ambiente real, com todas as suas variáveis, em um sistema computacional. As simulações são utilizadas em ambientes educacionais, pois permitem ao aluno interagir diretamente com as variáveis do processo e analisar as diferentes respostas retornadas pelo modelo que está sendo simulado.

A “imitação” do comportamento do fenômeno original por meio de modelos é chamada de simulação. Ela consiste em testar o modelo construído, reproduzindo o comportamento daquele domínio ao longo do tempo [Pedro, 2006].

Recriar objetos do mundo real e testá-los faz parte da vida do ser humano desde muito cedo. É comum crianças criarem objetos em papel, que são cópias dos existentes no mundo real. Em muitos casos, elas simulam a forma de utilizá-los, como acontece por exemplo, com a brincadeira com barquinhos de papel.

A construção de ferramentas computacionais que permitem a alunos e professores a análise de mundos artificiais cria ambientes de ensino-aprendizagem com grande possibilidade investigativa [Pereira e Sampaio, 2008]. Entretanto, o modelo de ensino atual atribui ao professor o papel de mero apresentador do conteúdo. Assim, aos alunos não é dada a chance de realizar descobertas, testar hipóteses, discutir resultados,

utilizar as suas próprias experiências, com o objetivo de construir seu conhecimento [Lima, 2008].

A simulação de um fenômeno biológico em computadores motiva a aprendizagem, já que a interface gráfica e a possibilidade de explorar as variáveis do ambiente servem de estímulo ao aluno. Entretanto, a figura do professor, condutor do processo ensino-aprendizagem, é fundamental nesse processo. Ele deve lançar os estímulos, motivar e instigar os alunos a realizarem as simulações, alterando os dados de entrada e interativamente, realizando testes de hipóteses, construindo um novo conhecimento, assegurando a sequência do desenvolvimento do fenômeno em estudo [Azevedo et al., 2005], [Azevedo et al., 2007].

3. Ambientes de Simulação

Alguns ambientes de simulação para aprendizagem, principalmente de biologia, são encontrados na literatura, tais como: STELLA, Carbópolis, AVITAE, JLinkIt, PhET.

O ambiente STELLA- *Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation* - é uma ferramenta de modelagem quantitativa e semiquantitativa que usa objetos como tanques, válvulas, conversores e conectores, e permite a construção de modelos matemáticos pela simples conexão de ícones. As equações são automaticamente geradas para o modelo. Para a construção do modelo e posterior simulação é necessário que os alunos encontrem as variáveis relevantes do sistema em questão. O ambiente de modelagem se encarrega de mostrar a evolução temporal do fenômeno [Wallis et al, 2001].

O Instituto de Química da Universidade do Rio Grande do Sul desenvolveu um ambiente de simulação ambiental, o Carbópolis [Carbópolis, 2011]. Nele os alunos avaliam a diminuição da atividade agropecuária próximo a uma usina termelétrica. O estudante lê depoimentos, analisa medições ambientais, cria relatórios e hipóteses para as causas do problema e possíveis soluções. Há ainda uma biblioteca com textos que podem ser consultados pelo aluno para esclarecimento de algum aspecto.

O ambiente AVITAE simula características da vida artificial voltada para o ensino de Biologia [Pereira e Sampaio, 2006]. Ele permite criar as propriedades físicas do ser e o controle do comportamento dos mesmos. São três módulos. O primeiro módulo chama-se criação de Hardware. Nele são inseridas as características físicas, tais como visão, locomoção, tato, etc. No módulo de programação de consciência são configuradas as ações que o ser pode desenvolver com base nas características físicas. Como por exemplo: Se tem pernas pode andar. Por fim o módulo de simulação onde todas as criaturas são inseridas e podem interagir.

O JLinkIt é uma ferramenta de simulação para ser utilizada em contextos educacionais e foi desenvolvida na Universidade Federal do Rio de Janeiro [Pedro, 2006]. É um ambiente de modelagem semiquantitativa. Uma das características mais interessantes é a possibilidade de acesso via Internet. Alunos e professores podem criar seus próprios modelos ou testar modelos já criados. Diversas áreas podem usufruir desta ferramenta, em especial a Biologia, a Física e a Matemática [Sampaio e Pedro, 2007].

PhET foi desenvolvido pela Universidade do Colorado, sendo um repositório de simulações na área de Física que permite a estudantes e educadores explorar diversas situações através de web browser [Interactive Simulations, 2011]. É possível baixar

uma cópia do site com todas as simulações para o computador, permitindo trabalhar off-line.

Esses ambientes possuem algumas características bem diferenciadas. No ambiente do JLinkIt o aluno não precisa conhecer as equações matemáticas que farão parte da simulação, mas sim as relações de causa e efeito. No ambiente STELLA é necessário o conhecimento de tais equações para criação do modelo. Carbópolis e PhEt oferecem um ambiente de simulação orientado a um assunto específico, isto é, a modelagem já está pronta, o aluno apenas manipula os dados para testar as diferentes soluções.

A possibilidade de expor seus modelos na Web está presente em alguns ambientes. Os modelos do PhET já estão disponíveis para execução em um browser. JLinkIt utiliza a tecnologia Servlets e JSPs que permite a manipulação dos modelos via Web, mas podem ser executados localmente. Os ambientes Stella e Carbópolis não possuem a opção de manipulação Web.

Todos os ambientes possuem um bom grau de interação com o usuário. O ambiente STELLA possui um conjunto de ícones que o usuário escolhe para montar o seu ambiente, segundo as relações de causa e efeito. O Carbópolis oferece uma interface representando uma fazenda. Além do menu, onde podem ser acessadas várias funções, na interface da fazenda vão sendo adicionados aparelhos para diminuir a poluição conforme escolha do usuário. As simulações do PhET sempre mostram uma animação do fenômeno físico simulado, com opções na tela para alterar os valores das variáveis envolvidas. O JLinkIt possui uma interface que mostra a animação das variáveis que compõem o modelo, além de gráficos da evolução.

4. Inteligência Artificial nas simulações

A Inteligência Artificial (IA) é uma área da Ciência da Computação que busca criar sistemas computacionais que possam resolver problemas, raciocinar sobre fatos, compreender linguagens, simular um especialista, etc. O trabalho em IA tem sido incessante nos últimos anos na busca por sistemas que possam resolver problemas sem a intervenção dos seres humanos, isto é, simulando a capacidade humana de raciocinar e tomar decisões. Um especial interesse tem sido dado à resolução de problemas envolvendo *Swarm Intelligence*.

Swarm Intelligence utiliza métodos baseados em populações, no qual o comportamento coletivo de indivíduos simples surge das interações entre eles e com o ambiente. Em outra definição, *Swarm* pode ser entendido como a área que lida com sistemas artificiais compostos de muitos indivíduos que atuam usando controle descentralizado e auto-organização [Dorigo e Birattari, 2011].

Estes sistemas podem ser observados na natureza em sistemas de partículas, ou colônias de insetos sociais, tais como formigas ou abelhas. Em colônias de abelhas há uma divisão do trabalho, no qual se destaca o trabalho da abelha campeira. Ela parte em busca de um campo de flores para extrair néctar e pólen e retorna na tentativa de aliciar outras abelhas a segui-la. Não há um comando centralizado neste processo e existe uma interação entre a abelha, o meio no qual está inserida e com as outras abelhas. A atividade de cada indivíduo, segundo a sua experiência e a troca de informações, levam ao objetivo maior, isto é, manter a integridade física e a evolução da colmeia.

A Inteligência Artificial Distribuída (IAD) através da abordagem de multiagentes (SMA) contribui para a simulação destes ambientes colaborativos e descentralizados. Entende-se como agente uma entidade computacional que é capaz de perceber mudanças no meio através de sensores e agir através de atuadores. Os agentes no SMA são entidades autônomas que agem, se comunicam e tomam decisões no ambiente em que estão inseridos. A capacidade de resolução cooperativa nestes ambientes é uma das principais características.

A seguir, o ambiente Sim-Colmeia, que segue as abordagens das simulações inteligentes, é descrito sucintamente.

5. Sim-Colmeia: Ambiente Educacional de Simulação da Atividade de Abelhas

O crescimento populacional é um dos fatores mais importantes no estudo da Ecologia, na área da Biologia. Ele está intimamente relacionado ao comportamento dos atores, à disponibilidade de alimentos e à ação de predadores [Silva 2011]. O ambiente Sim-Colmeia simula a dinâmica das atividades desenvolvidas por abelhas para a manutenção de uma colmeia.

Em geral, as abelhas agem de forma independente, interagem com o meio e se comunicam com as outras abelhas. Não há uma organização central, mas sim indivíduos autônomos, que a partir de sua experiência e interação com o meio tomam atitudes que objetivam a integridade física e a expansão da colmeia. O ambiente Sim-Colmeia possibilita explorar a relação existente entre a disponibilidade de alimentos no ambiente, isto é, as plantas em floração e o aumento do número de abelhas na colmeia. Esta visualização fica mais fácil de ser entendida através da observação de gráficos e da escolha dos tipos de plantas que estarão em floração no decorrer do tempo. A sobrevivência da colmeia depende da combinação do comportamento coletivo dos vários insetos que formam um enxame e da floração das plantações que envolvem a colmeia. Em um ambiente de aprendizagem, isto permite ao aluno acompanhar o desenvolvimento de um sistema biológico e comparar resultados.

Além deste ponto principal, outros aspectos podem ser explorados: a relação existente entre indivíduos pertencentes a grupos de insetos sociais, o processo de desenvolvimento das abelhas até chegar à forrageira e o papel da abelha rainha para a colmeia. Esta estrutura organizacional das abelhas é encontrada na abordagem de Multiagentes na área de Inteligência Artificial Distribuída. Por isso, esta foi a abordagem escolhida para a modelagem e implementação do sistema. A fase de modelagem é essencial para o entendimento e a implementação de simulações contendo estratégias inteligentes.

5.1. Modelagem

Na modelagem do Sim-Colmeia utilizamos a metodologia MaSE (Multi-Agent System Engineering). Ela é aplicada para a modelagem de sistemas Multiagentes e compreende duas fases principais Análise e Design [Deloach, 2009]. A fase de análise define as metas, os casos de uso, os papéis e as tarefas de cada agente. Na fase de design são criadas as classes de agentes e as conversações entre eles.

Com base nos requisitos e restrições do domínio do problema, foi construído o diagrama de metas representado na Figura 1 de forma textual.

Após a definição das metas, o próximo passo foi definir os casos de uso para que as metas fossem satisfeitas. Os seguintes casos de uso foram definidos: Criação de Novas Abelhas, Eliminação de Abelhas, Promoção de Abelhas Jovens, Promoção de Larvas, Criação de Novas Células, Aliciamento de Abelhas, Busca por Campo de Flores, Inicialização dos Campos de Flores, Floração, Atualização de Recursos, Produção e Estoque, Avaliação de Necessidade de Recursos, Avaliação de Necessidade de Néctar, Avaliação de Necessidade de Pólen, Avaliação de Necessidade de Expansão, Avaliação de Necessidade de Criação de Novas Abelhas.

Para os casos de uso definidos foram construídos os respectivos diagramas de sequência onde são representadas as interações entre os papéis dos agentes. Os papéis e suas tarefas foram identificados no Diagrama de Papéis e Diagrama de Tarefas Concorrentes.

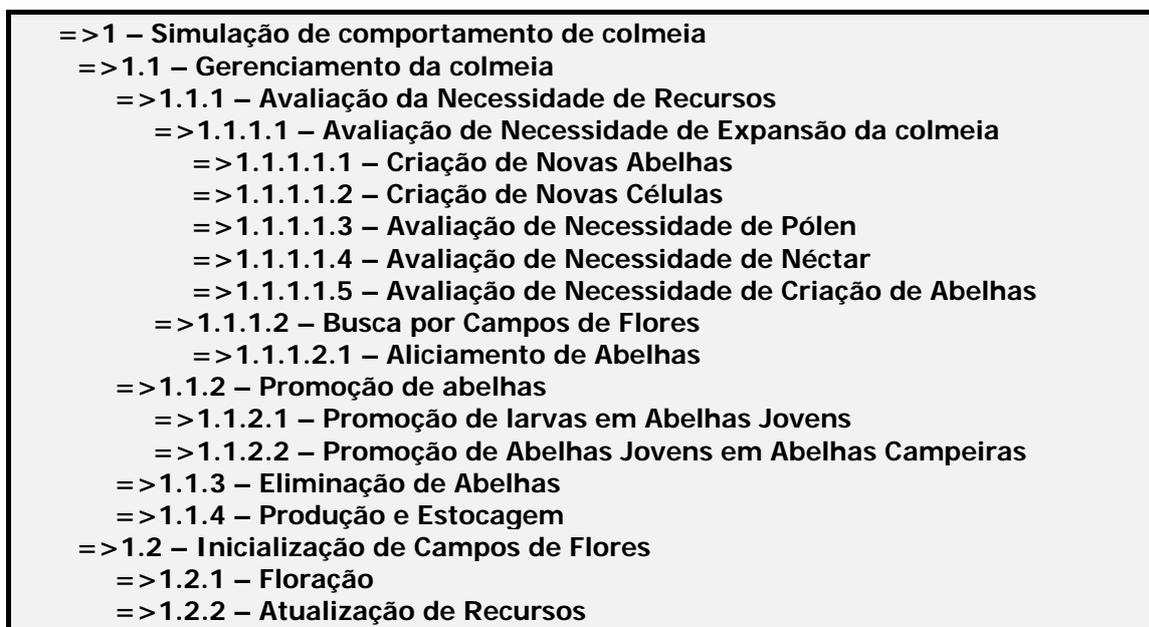


Figura 1. Metas do Sim-Colmeia

Na fase de *Design* foi especificado o comportamento do Sim-Colmeia e como este deve ser construído. Assim, na simulação proposta, definimos as classes de agentes e as respectivas interações entre si.

Os seguintes agentes foram definidos: Timer, Colmeia, População, Campo_de_flor e Abelha_campeira. Na figura 2 pode ser observado o fluxo básico de comunicação entre os principais agentes. O agente Timer é responsável por aguardar a entrada de dados e iniciar o relógio do ambiente. Estabelece comunicação com o agente Colmeia para inicialização e atualização dos dados populacionais. O agente Colmeia inicializa a colmeia, controla a dinâmica interna e estabelece comunicação com o agente População para cálculo dos dados populacionais. Através de comunicação com o agente Abelha_campeira, recebe informações do forrageio e controla o fluxo de alimentos na colmeia. O agente População atualiza os dados populacionais a cada solicitação do

agente colmeia. O agente Campo_de_flor informa ao agente Abelha_campeira as condições dos campos de flores, isto é, qual está em floração, nível de floração e tipo de recursos. O agente Abelha_campeira realiza o forrageamento e comunica ao agente Colmeia a quantidade de recursos coletados por dia de atividade.

A modelagem completa do Sim-Colmeia encontra-se em Silva (2011).

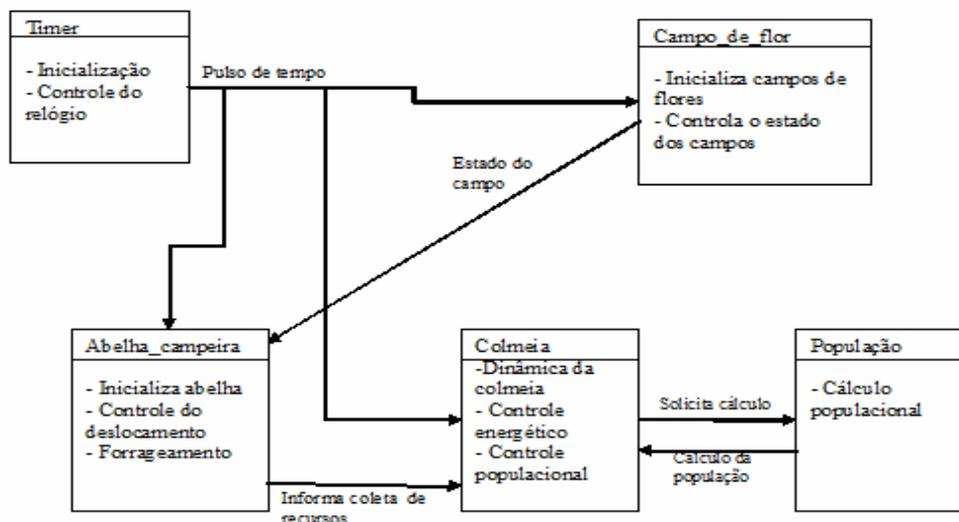


Figura 2. Diagrama de comunicação entre os agentes Sim-Colmeia

5.2. O protótipo do Sim-Colmeia

Na construção do protótipo do Sim-Colmeia o Framework utilizado foi o Java Agent Development Framework-JADE [JADE, 2011], que possui várias bibliotecas para utilização em sistemas desenvolvidos na linguagem Java. O JADE constitui uma camada intermediária para a criação e gerenciamento de agentes. Pode ser facilmente integrado com camadas de mais alto nível de abstração. Como IDE Java, para o desenvolvimento dos agentes e do sistema, foi escolhido o NetBeans [NetBeans, 2011]. Este ambiente possui fácil integração tanto com JADE quanto com X3D, que é a linguagem utilizada para a construção das cenas 3D.

Os dados de plantas visitadas por abelhas [IBUSP, 2011] durante o ano foram armazenados em um banco de dados. Os atributos armazenados foram meses de floração, intensidade mensal da florada, nome científico, nome popular e tipo de recurso. O gerenciador escolhido foi MySQL.

Para o cálculo da população ao longo do tempo, as abelhas são classificadas em trabalhadoras da colmeia e forrageiras. São parâmetros para este cálculo: taxa de mortalidade das forrageiras, postura de ovos pela rainha e número inicial de abelhas [Khoury et al., 2011]. Os dados obtidos no trabalho de Southwick e Pimental (1991) foram utilizados como base para a determinação dos recursos de néctar e pólen na colmeia e na verificação destes para suprir as necessidades básicas de energia das abelhas.

Para interagir com o sistema, o usuário escolhe os dados iniciais (Figura 3) e os campos de flores que farão parte da simulação (Figura 4).

Entrada de dados

Abelhas na Colmeia

Abelhas forrageiras

Taxa de mortalidade

Postura de ovos

Número de campos

Figura 3. Interface configuração dos dados iniciais

Escolha dos campos

(chá)

Nome Científico

Recurso

Família

Florada durante o ano

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez

Selectio... Campo: 3

Situação anual de floradas

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Rec
												π
												P

π - Época de Floração
□ - Pico da Florada

Figura 4. Interface para escolha dos campos de flores

O ambiente atualiza, considerando um determinado espaço de tempo, todos os valores relativos a colmeia e os mostra na tela. Gráficos são criados e podem ser visualizados pelo usuário para análise da variação populacional. Na figura 5 é mostrado o Gráfico de Crescimento Populacional de Abelhas considerando determinados parâmetros. A partir dessas opções, o sistema construirá uma cena 3D, onde o aluno poderá visualizar as plantações, suas florações, a localização da colmeia e o fluxo de abelhas campeiras.

6. Conclusões

A utilização de simulações no ensino de Biologia se constitui em uma potente ferramenta para o processo ensino-aprendizagem. A Biologia é uma área do conhecimento onde a formulação de hipóteses e o processo de testar estas hipóteses é fundamental para sua compreensão. A simulação permite a alteração de parâmetros que regem os sistemas biológicos, mostrando comportamentos difíceis de serem observados no mundo real e ampliando as possibilidades de aprendizagem de comportamentos complexos.

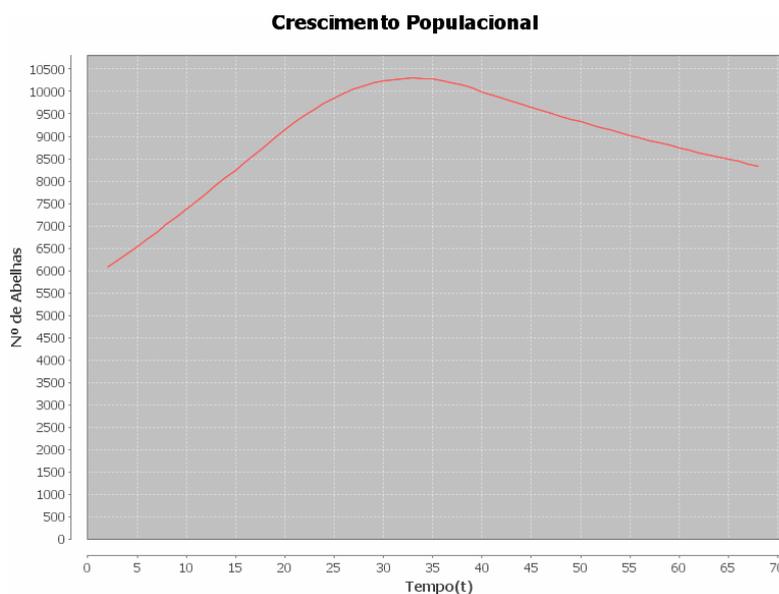


Figura 5. Gráfico do crescimento populacional de abelhas

O Simulador de dinâmica de colmeias possibilita ao aluno manipular parâmetros e avaliar os resultados ao longo do tempo. Assim, ele tem todas as possibilidades de interagir com o mundo virtual e tirar conclusões acerca de suas hipóteses.

A abordagem de Multiagentes é a melhor para ambientes onde agentes autônomos atuam sem uma coordenação central, mas estabelecem uma comunicação com o meio em que está inserido, recebendo dele informações e tomando decisões. A colmeia é um exemplo de ação de agentes autônomos que interagem com outros agentes, mas que não possuem uma coordenação central.

A utilização de Realidade Virtual propiciará aos alunos a possibilidade de visualizar fatos que o ambiente 2D da simulação não oferece. Isso confere um atrativo a mais para despertar o interesse do aluno nas complexas relações que sustentam a sobrevivência de uma colmeia.

Referências

- Azevedo, Lívia L.; Menezes Crediné S. de; Magdalena Beatriz C.; Pontarolo, Edílson (2005) “Ambientes Computacionais Orientados a Agentes para apoio à Aprendizagem Baseada em Simulação“. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, pp. 52 a 62.
- Azevedo, Lívia L.; Menezes Crediné S. de; (2007) “NetPlay – uma ferramenta para construção de modelos de simulação baseado em multiagente“. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, pp. 370 a 381.
- Bezerra, C.S, Carmo, F.N.A. do; Oliveira, F. A. de; Oliveira, F. C. S. e Xavier Neto, L. P. (2008) “A utilização de modelos como recursos didáticos no ensino de Biologia para jovens e adultos”, III Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, Fortaleza, CE.
- Carbópolis, O Carbópolis, em <http://www.iq.ufrgs.br/aeq/carbopp.htm>, visitado em julho de 2011.
- Deloach, S. A. (2001). “Analysis and Design using MaSE and agentTool“. 12th Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Conference, Miami University, Ohio.
- Dorigo, M. & Birattari, M.(2007) “Swarm Intelligence“. Scholarpedia, vol. 2, nº. 9, p. 1462.

- Fialho, N. N., Matos, E. L. M. (2010) "A arte de envolver o aluno na aprendizagem de ciências utilizando softwares educacionais". *Educar em Revista*, Curitiba, Brasil, n. especial 2, p. 121-136. UFPR.
- Hamada M. (2010) "Virtual Environment for an Ants-like Model". *The International Journal of Virtual Reality*, vol. 9, nº 4, pp 63 a 68.
- IBUSP, "Laboratório de Abelhas da USP". Em http://eco.ib.usp.br/beelab/plantas_calendario.pdf. Visitado em julho de 2011.
- Interactive Simulations – PhET. "Base de simulações de fenômenos físicos". Em <http://phet.colorado.edu/en/about>. Universidade do Colorado. Visitado em julho de 2011.
- JADE, "Framework JADE". Em: <http://jade.tilab.com>. Visitado em julho de 2011.
- Khoury D.S., Myerscough M.R., Barron A.B. (2011) "A Quantitative Model of Honey Bee Colony Population Dynamics". *PLoS ONE*. Vol. 6. n.4.
- Lima, Luciana de. (2009) "Ensino de Conceitos Biológicos: a Relação entre Aprendizagem Significativa e Objetos Educacionais Digitais". *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*.
- Mulinari, M. H. & Ferracioli, L. (2008) "A utilização da tecnologia da informação no ensino de Biologia: um experimento com um ambiente de modelagem computacional". *RBECT*. São Paulo, v.01, n.01.
- Netbeans. Em <http://netbeans.org>. Visitado em julho de 2011.
- Oliveira, Wellington P. de, Schimiguel, Juliano, Silveira, Ismar F., Carlos Fernando de Araújo Jr, Amaral, Luiz Henrique do, Oliveira, Ivan Carlos Alcântara, Veiga, Jaime Sandro da. (2009) "Desenvolvimento de simulações web para uma atividade de ensino-aprendizagem. *Revista Network Technologies*" - *Faculdades Network*, Vol. 3, Nº1.
- Pedro, M.V.(2006) "JlinkIt: Desenho e Implementação de um Ambiente de Modelagem Computacional para o Ensino". *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Pereira, A. S. T. & Sampaio, F. F. (2006) "Utilização de Vida Artificial no Ensino de Ciências Biológicas com TI". *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pp. 1 - 7.
- Pereira, A. S. T. & Sampaio, F. F. (2008) "AVITAE: desenvolvimento de um ambiente de modelagem computacional para o ensino de Biologia". *Ciências & Cognição*. São Paulo, v. 13.
- Sampaio, F. F. & Pedro, M. V. (2007) "JLinkIt : Um ambiente de modelagem dinâmica computacional para o ensino-aprendizagem de Ciências". *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pp. 61-70.
- Silva, André S. da. (2011) "Modelagem orientada a agentes para simulação de colônias de abelhas". Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Departamento de Ciência da Computação.
- Southwick E. E., Pimental D. (1991) "Energy Efficiency of Honey Production by Bees". *BioScience*. Vol. 31. N.10. University of California Press.
- Wallis, J., Chichakly, K., Peters S., & Richmond B. (2001) "STELLA® Research software". High Performance Systems, Inc., Hanover.