

# **Integração de Agentes Autônomos e SIG em uma Arquitetura para Simulação de Confrontos**

Claudio Antonio da Silva<sup>1</sup>  
Roberto de Beauclair Seixas<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Pontifícia Universidade Católica – PUC-Rio  
Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica – TeCGraf  
Rua Marquês de São Vicente, 225  
CEP 22453-900 – Rio de Janeiro – RJ  
{cads,tron}@tecgraf.puc-rio.br

<sup>2</sup>Instituto de Matemática Pura e Aplicada – IMPA  
Estrada Dona Castorina, 110  
CEP 22460-320 – Rio de Janeiro – RJ  
tron@impa.br

## **Resumo:**

As simulações de confronto têm desempenhado um papel relevante no moderno treinamento militar. Os agentes autônomos são uma alternativa para a construção de modelos para este tipo simulação. A utilização de dados georeferenciados dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é necessária para calcular com precisão a mobilidade e acuidade visual dos agentes durante a simulação de confrontos. Entretanto, a arquitetura do simulador deve estar adequada para acomodar os agentes e os dados de SIGs. Desta forma, este artigo apresenta uma proposta de arquitetura para sistemas baseados em agentes.

**Palavras-chave:** Simulação, Agentes Autônomos, SIG, Arquitetura.

## **1. Introdução**

A mobilização real de efetivos para treinamento tático costuma ser demorada, desgastante para os militares e com alto custo. Com isso, uma série de soluções baseadas em ambientes virtuais tem sido adotada para que algumas etapas do treinamento possam ser exaustivamente realizadas em simulações por computador antes que os efetivos sejam levados a campo. As simulações de confronto têm desempenhado um papel relevante no moderno treinamento militar, principalmente para os oficiais que precisam aprender a tomar decisões sob diversas circunstâncias e, ainda, trabalhar com novas tecnologias. Em geral, as simulações são usadas para avaliar a evolução das ações, o impacto de novas estratégias e o planejamento de contingências (análises do tipo *what-if*) (Ioerger et al 2000).

Os agentes autônomos podem ser utilizados para a simulação de soldados em ambientes virtuais. Segundo Maes (1995), agentes são **sistemas computacionais inseridos em ambientes complexos e/ou dinâmicos, que têm a capacidade de perceber e agir de modo autônomo para atingir objetivos ou executar tarefas para os quais tenham sido modelados**. Devido ao fato dos agentes agirem de modo autônomo, ou seja, sem intervenção externa, sua utilização promove a redução da previsibilidade da simulação e, com isso, exige que os oficiais exercitem a tomada de decisões.

Utilizando dados geográficos gerados nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), pode-se efetuar cálculos importantes de simulações militares, tais como da mobilidade e da acuidade visual, com bastante precisão. O modelo de confronto empregado neste artigo é uma simplificação do utilizado no Sistema de Jogos Didáticos do Corpo de Fuzileiros Navais do Centro de Instrução Almirante Sylvio de Camargo – CIASC.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma arquitetura para simulação militar baseada em agentes autônomos e dados geográficos.

## **2. Agentes Autônomos**

O conceito de agentes autônomos é relativamente recente e surgiu das pesquisas na área de Inteligência Artificial. O uso de agentes não se limita à simulação de modelos. Com isso, existem diversas definições para esse conceito. Segundo Maes (1995), agentes são **sistemas computacionais inseridos em ambientes complexos e/ou dinâmicos, que têm a**

**capacidade de perceber e agir de modo autônomo para atingir objetivos ou executar tarefas para os quais tenham sido modelados.** Desta definição, pode-se extrair as principais características dos agentes, a saber:

- Autonomia
- Capacidade de perceber o ambiente
- Capacidade para executar tarefas de acordo com seus objetivos

A autonomia dos agentes, ou seja, o poder de atuar sem intervenção/operação externa, é possível porque eles incorporam a lógica (objetivos e planos) que os possibilita tomar suas próprias decisões. De um modo geral, a percepção do ambiente é realizada a partir de uma visão sintética. Isso pode ser feito através de uma construção geométrica que permita aos agentes determinarem quais objetos (ou mesmo outros agentes) estão situados nas redondezas de sua localização. Esta característica é importante porque as decisões dos agentes são tomadas em decorrência de seus objetivos e do que for percebido no ambiente. Os agentes executam tarefas por intermédio de comportamentos.

Pode-se entender os agentes como entidades individuais que possuem os mecanismos (autonomia, percepção e comportamentos) adequados para atuarem por conta própria em um ambiente de simulação. Desta forma, é possível simular soldados em um confronto a partir de um número igual de agentes devidamente programados com objetivos e comportamentos compatíveis com os dos soldados.

### **2.1. Modelo de Soldado**

O primeiro passo para a criação do modelo deve ser a definição dos objetivos dos agentes na simulação. Isso depende da finalidade da simulação. Para fins de simplificação, considerou-se um cenário típico de confrontos militares, onde posições estratégicas de um terreno são disputadas entre soldados de grupos oponentes. Um grupo de soldados, dito de defesa, deve impedir o avanço de outro grupo, dito de ataque, na direção de tais posições. A partir daqui passaremos a citar os soldados como agentes.

Nesse cenário, o confronto dos grupos oponentes é possível e, portanto, os agentes devem ser capazes de determinar os comportamentos que devem ser adotados. Devido sua capacidade de percepção, os agentes podem detectar a presença uns dos outros. A ação a

ser adotada depende da tática que se deseja adotar. Por exemplo, utilizando-se apenas dois comportamentos, um para os agentes da defesa e outro para os do ataque, pode-se concluir um modelo bastante simples para simular confrontos. O comportamento dos agentes da defesa poderia ser estar sempre entre o inimigo que foi detectado e a posição estratégica que está sendo defendida enquanto que o comportamento do ataque poderia ser sempre tentar contornar o inimigo para atingir a posição estratégica.

A capacidade de percepção dos agentes pode ser implementada considerando um círculo ao redor de suas localizações de modo que para determinar se há inimigos visíveis basta verificar se algum dos inimigos está no interior deste círculo.

Quanto aos comportamentos, pode-se implementá-los utilizando comportamentos de manobra (*Steering Behaviors*). Em Reynolds (1999) são propostos vários comportamentos de manobra que podem ser utilizados diretamente, ou associados uns com os outros para formar outros comportamentos mais complexos.

Para tornar o modelo mais coerente poder-se-ia considerar, ainda, que os agentes possuem um valor numérico indicando seu poder de combate (estimativa de sua “força”). Além disso, o poder de combate de um inimigo poderia ser reduzido, de um determinado valor, sempre que o inimigo estivesse com um afastamento menor ou igual a determinado valor pré-definido para indicar que o inimigo foi atingido (cálculo de danos).

Desta forma, constata-se que a utilização de agentes autônomos permite considerar diversos fatores relativos ao confronto militar em um modelo para simulação.

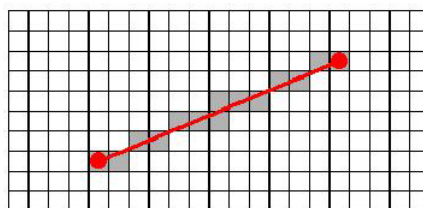
### **3. Ambiente de Simulação**

O ambiente de simulação é o espaço para movimentação e interação dos agentes. Além disso, o ambiente de simulação deve reproduzir o terreno onde ocorre o confronto. As características do terreno (tais como: topografia, vegetação, hidrografia, etc.) influenciam diretamente na mobilidade e acuidade visual dos soldados.

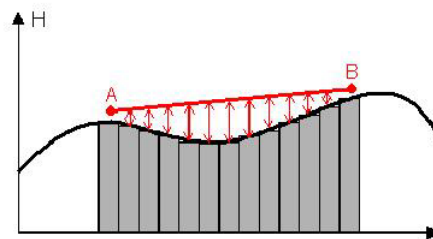
Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) produzem e gerenciam representações precisas de terrenos a partir de dados georeferenciados armazenados na forma vetorial ou matricial (*grid*). Assim, propõe-se a utilização de dados de SIGs para efetuar os cálculos da mobilidade e da acuidade visual dos agentes de maneira adequada.

O cálculo da mobilidade pode ser feito através de um mapa temático onde as classes temáticas determinam as velocidades máximas que os agentes podem adotar em cada porção do terreno. Para a composição deste mapa temático é necessário utilizar uma série de informações que interferem no movimento, tais como: topografia, vegetação, vias, etc. Alguns autores denominam esta informação temática de mapa de trafegabilidade.

O cálculo da acuidade visual está relacionado com a detecção de inimigos e objetos no terreno, ou seja, uma ampliação da própria capacidade de percepção dos agentes. Para isso, faz-se necessário considerar a topografia do terreno, porque podem haver elevações ou depressões obstruindo a linha de visão (linha imaginária traçada de um agente até uma posição que esteja sendo observada) dos agentes. Uma forma simplificada de calcular a acuidade visual é utilizar um modelo digital de elevação (DEM) para verificar se há alguma região do terreno que obstrua a linha de visão dos agentes. Na Figura 1a pode-se ver a linha de visão (em vermelho) de um agente sobre um DEM. Na Figura 1b pode-se ver o DEM em uma vista lateral (realçando as alturas) e a linha de visão. Na Figura 1 pode-se constatar que o terreno não obstrui trecho algum da linha de visão, ou seja, o agente pode ver a posição em questão (Seixas 1999).



(a)

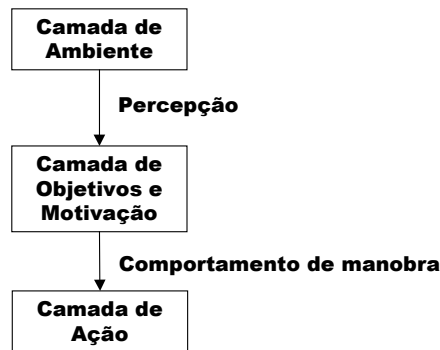


(b)

**Figura 1. Cálculo de Acuidade Visual.**

#### 4. Arquitetura Baseada em Agentes

A partir da definição dos agentes e do ambiente de simulação, propõe-se uma arquitetura para a construção de sistemas baseados em agentes. Esta arquitetura é formada por três camadas ou etapas que definem a seqüência de execução da simulação. As camadas foram denominadas Camada de ambiente, Camada de Objetivos e Motivação e Camada de Ação, conforme mostra a Figura 2.



**Figura 2. Camadas da Arquitetura.**

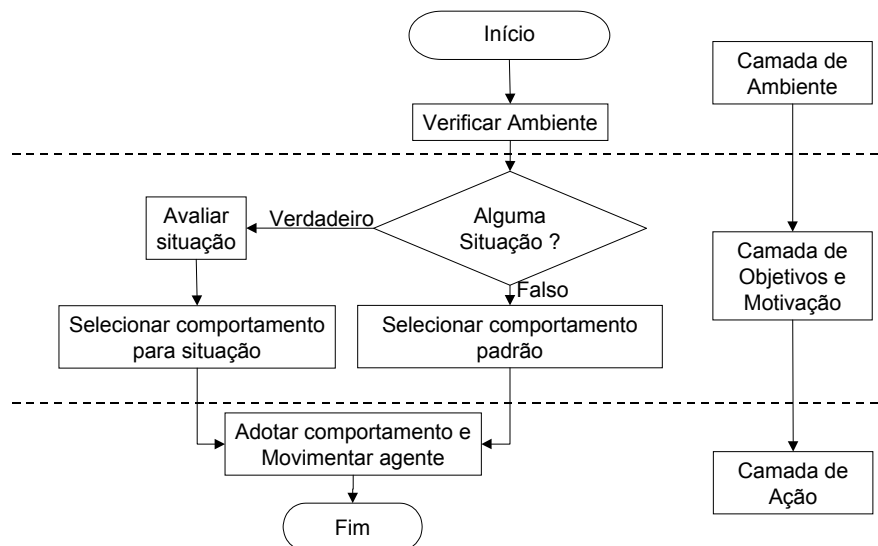
A Camada de Ambiente representa o ambiente de simulação propriamente dito englobando todos os agentes e as informações do terreno (DEM e mapa de trafegabilidade). Os agentes podem estar estruturados segundo uma lista encadeada ou vetor. Para armazenar as informações do terreno, deve-se alocar duas matrizes, uma para o DEM e outra para a mapa de trafegabilidade. Assim, no início de cada ciclo de simulação, cada agente da lista fará o seu cálculo de acuidade visual (conforme explicado anteriormente), ou seja, perceberá o ambiente para determinar quais objetos e agentes estão visíveis.

A Camada de Objetivos e Motivação implementa a “inteligência” dos agentes. A finalidade desta camada é analisar o que foi percebido na Camada de Ambiente e, baseado também nos objetivos dos agentes, selecionar o comportamento mais apropriado para o momento. Em geral, isso é feito através de uma série testes condicionais (ninho de *ifs*), tal como mostra o algoritmo a seguir.

SE (  $\exists$  INIMIGO ATACANDO E NÃO  $\exists$  INIMIGO VISÍVEL ) ENTÃO  
 ADO TAR **COMPOR TAMENTO RETRO CEDER**  
 SENÃO SE (  $\exists$  INIMIGO VISÍVEL E  $\exists$  ELEMENTO VISÍVEL ) ENTÃO  
 ADO TAR **COMPOR TAMENTO ATACAR**  
 SENÃO SE (  $\exists$  INIMIGO VISÍVEL E NÃO  $\exists$  ELEMENTO VISÍVEL ) ENTÃO  
 ADO TAR **COMPOR TAMENTO CONGELAR**  
 SENÃO SE (  $\exists$  ALERTA INIMIGO ) ENTÃO  
 ADO TAR **COMPOR TAMENTO PERSEGUIR**

A Camada de Ação é responsável pela execução do comportamento selecionado na Camada de Objetivos e Motivação. Como se está focando nos comportamentos de manobra, a Camada de Ação irá calcular a mobilidade dos agentes, ou seja, determinar a nova posição dos agentes, obedecendo as velocidades dos agentes e a carta de trafegabilidade.

A Figura 3 mostra a arquitetura proposta em uma representação mais próxima de como foi implementada. No fluxograma da Figura 3, o termo *situação* refere-se a qualquer evento percebido no ambiente que mereça ser tratado por um comportamento adequado.



**Figura 3. Fluxo de Execução**

## 5. Protótipo

A arquitetura descrita foi utilizada para implementar um protótipo, para a simulação de um modelo de confronto considerando várias situações de maior complexidade. Foram agregadas diversas características dos soldados aos agentes autônomos de modo que pudessem atuar de modo coerente com um planejamento tático simplificado.

O protótipo permite definir um ambiente de simulação a partir da especificação dos arquivos que armazenam o DEM e o mapa de trafegabilidade. Utilizou-se o formato binários para *GRIDs* do ArcView porque é um formato que pode ser facilmente decodificado e possui farta documentação disponível. Além disso, os agentes podem ser adicionados interativamente no ambiente de simulação e ter seus parâmetros (tipo do grupo, poder de combate, etc.) ajustados de maneira simples.

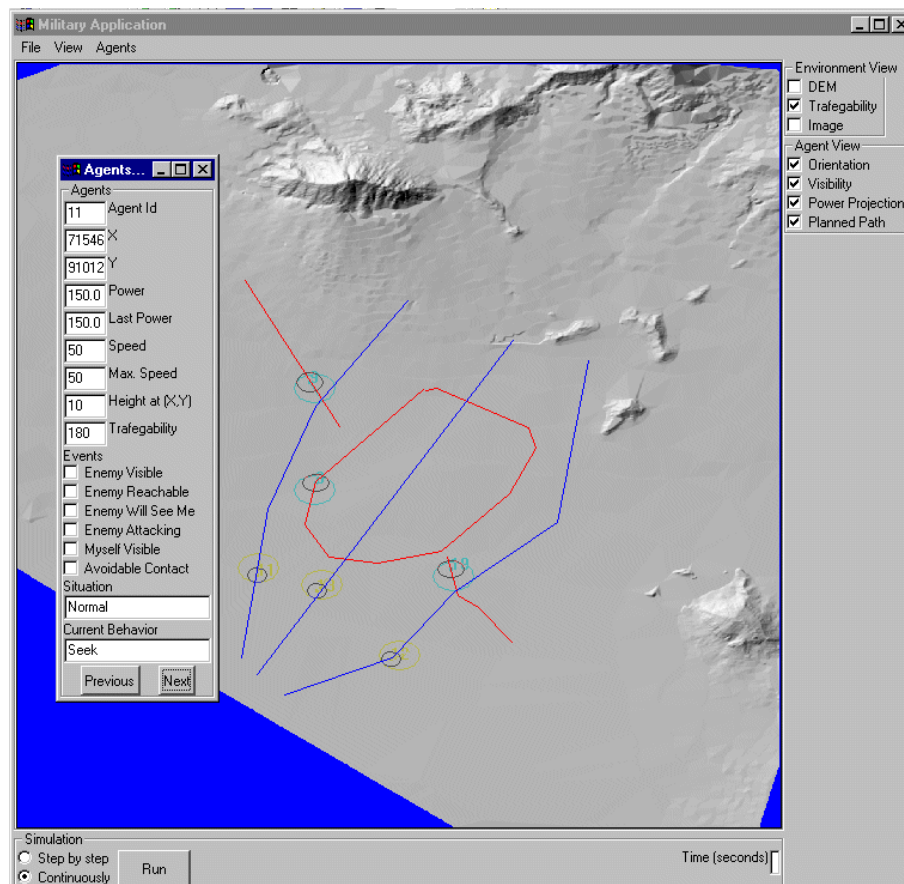


Figura 4. Interface do Protótipo.



A Figura 4 ilustra a interface desse protótipo, onde se pode verificar a localização de alguns agentes sobre uma imagem de um terreno. As linhas em vermelho indicam o trajeto planejado para os agentes de defesa enquanto que as linhas em azul estão associadas com o trajeto dos agentes de ataque. O diálogo posicionado sobre a interface do protótipo (a esquerda dos agentes) permite acompanhar a situação de cada agente durante a simulação. Além disso, na lateral direita da interface pode-se exibir/ocultar várias informações dos agentes (alcance dos armamentos e do campo visual, por exemplo) e do ambiente (DEM ou mapa de trafegabilidade, por exemplo).

## **6. Conclusões**

A utilização de agentes autônomos permite capturar várias características dos soldados de um modo natural (porque também são capazes de perceber o ambiente, adotar comportamentos e possuem objetivos) e constitui uma alternativa para a criação de modelos para a simulação militar, principalmente as que envolvem confrontos.

O uso de dados reais obtidos diretamente de SIGs em um ambiente de simulação pode ser feita de forma simples porque existem formatos de fácil decodificação e requerem estruturas simples para que possam ser manipulados pelo sistema.

A arquitetura proposta permite acomodar os agentes e os dados reais de SIGs de um modo simples. Além disso, a abordagem por três camadas permite que as etapas do fluxo de execução dos agentes (percepção, seleção/decisão de comportamentos e adoção de comportamentos) fiquem evidentes, o que facilita a implementação.

## **7. Referências**

- *Artificial Intelligence and Games Lecture Notes*, Disponível em: <<http://www.computing.dcu.ie/~tonyv/gamesAI/>>, acesso em: 17 Jul 2003.
- Dunnigan, J. F., 1997, *The Complete Wargames Handbook*, Disponível em: <<http://www.hyw.com/Books/WargamesHandbook/Contents.htm>>, acesso em: 17 Jul 2003.
- Ingham, J., 1997, *What is an Agent ?*. Technical Report #6/99, Centre for Software Maintenance, University of Durham, Durham, London.

- Ioerger, T. R.; Volz, R. A.; Yen, J.; 2000, “Modeling Cooperative, Reactive Behaviors on the Battlefield with Intelligent Agents”. In: Proceedings of the ninth Conference on Computer Generated Forces (9<sup>th</sup> CGF), pp. 13-23, Orlando, Maio.
- Itami, B., Gimblett, R., Raulings, R., et al., 1999, “RBSim: Using GIS-Agent simulations of recreation behavior to evaluate management scenarios”, In: *Proceedings of AURISA 99 Conference*, Canberra, November.
- Maes, P., 1995, “Artificial Life Meets Entertainment: Lifelike Autonomous Agents”, *Communications of ACM*, v. 38, n. 11 (Nov), pp. 108-114.
- Reynolds, C., 1999, “Steering Behaviors for Autonomous Characters”, In: *Proceedings of Game Developers Conference 1999*, pp. 763-782, San Francisco.
- Reynolds, C., 1988, “Not Bumping Into Things”, In: *Proceeding of SIGGRAPH 88*, pp. G1-G13, Georgia, Atlanta, August.
- Reynolds, C., 1987, “Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model”, In: *Proceedings of SIGGRAPH’87*, pp. 25-34, Anaheim, California, July.
- Rosa, R., Brito, J.L.S., 1996, *Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica*, Uberlândia.
- Seixas, R.B., Mediano, M.R., Gattass, M., 1999, “Efficient Line-of-sight Algorithms for Real Terrain Data”, In: *III Simpósio de Pesquisa Operacional e IV Simpósio de Logística da Marinha – SPOLM 1999*, Rio de Janeiro, Dezembro.
- Silva, C. A., Seixas, R. B., Farias, O. L. M., 2003, Modelagem Comportamental para Agentes Autônomos em Ambientes Reais. Tese de M.Sc., Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Woodaman, R.F.A., 2000, *Agent-Based Simulation of Military Other Than War Small Unit Combat*. Tese de M.Sc., Naval PostGraduate School, Monterey, California, USA.
- Worboys, M.F., 1995, *GIS: A Computing Perspective*, 1 ed., London, Taylor & Francis.